

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

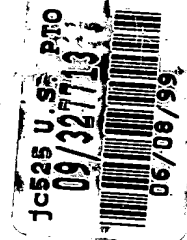
Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1998年11月25日

出 願 番 号

Application Number:

平成10年特許願第349311号

出 願 人

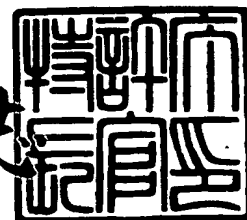
Applicant (s):

オリンパス光学工業株式会社

1999年 4月30日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

伴佐山 建志



出証番号 出証特平11-3026919

(Translation)

**PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT**

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with the office.

Date of Application: November 25, 1998

Application Number: Heisei 10 Patent Application No. 349311

Applicant(s): OLYMPUS OPTICAL CO., LTD.

April 30, 1999

Commissioner,

Patent Office Takeshi ISAYAMA (seal)

Certificate No. Hei 11-3026919

10-349311

[Name of Document] Patent Application
[Reference Number] 98P01914
[Filing Date] November 25, 1998
[Address] Commissioner, Patent Office
[Title of Invention] Optical System and Imaging Apparatus
[Number of Claims] 3
[Inventor]
[Domicile or Dwelling] c/o OLYMPUS OPTICAL CO., LTD.
43-2, Hatagaya 2-chome, Shibuya-ku, Tokyo
[Name] Kimihiko NISHIOKA
[Patent Applicant]
[Identification Number] 000000376
[Postal Code] 999-99
[Domicile or Dwelling] 43-2, Hatagaya 2-chome, Shibuya-ku, Tokyo
[Name] OLYMPUS OPTICAL CO., LTD.
[Representative] Masatoshi KISHIMOTO
[Agent]
[Identification Number] 100075867
[Postal Code] 999-99
[Domicile or Dwelling] 5-2, Toranomom 2-chome, Minato-ku, Tokyo
[Name] Kanji MUKAI
[Priority Claim Based on Antecedent Application]
[Application Number] Heisei 10 Patent Application No. 198155
[Date of Application] June 30, 1998
[List of Submitted Articles]
[Name of Article] Specification 1
[Name of Article] Drawings 1
[Name of Article] Abstract 1
[Number of General Power of Attorney] 9203864

【書類名】 特許願
【整理番号】 98P01914
【提出日】 平成10年11月25日
【あて先】 特許庁長官 殿
【発明の名称】 光学系および撮像装置
【請求項の数】 3
【発明者】

【住所又は居所】 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

オリンパス光学工業株式会社内

【氏名】 西岡 公彦

【特許出願人】

【識別番号】 000000376

【郵便番号】 999-99

【住所又は居所】 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

【氏名又は名称】 オリンパス光学工業株式会社

【代表者】 岸本 正壽

【代理人】

【識別番号】 100075867

【郵便番号】 999-99

【住所又は居所】 東京都港区虎ノ門2丁目5番2号

【氏名又は名称】 向 寛二

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 平成10年特許願第198155号

【出願日】 平成10年 6月30日

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9203864

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光学系および撮像装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 非回転対称面と光学特性可変反射鏡とを備えた光学系。

【請求項 2】 非回転対称面を有する光学素子と光学特性可変反射鏡と、撮像素子とを備え、前記反射鏡と前記撮像素子とが同一の基板上に配置され、前記反射鏡と前記非回転対称面を有する光学素子が光学系の全部又は一部を構成することを特徴とする撮像装置。

【請求項 3】 非回転対称面を有する光学素子と光学特性可変反射鏡とを備え、前記反射鏡が前記光学素子のいずれかの面の近傍に配置されていることを特徴とする撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は自由曲面光学素子と光学特性可変反射鏡を用いた撮像装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来の可変焦点レンズや可変焦点ミラー等の光学特性可変光学素子について可変焦点レンズを例として述べる。

【0003】

本発明の光学系にて用いる自由曲面光学素子の自由曲面とは、非回転対称面にて構成された面であって、さらに対称面を 1 面のみ有するものもしくは対称面を有しない曲面である。

本発明の光学系のように自由曲面（非回転対称面）を有する光学素子を用いた光学系は、自由曲面の反射面を利用する光学系であるため、色収差が発生しないというメリットがある。しかしその形状が異形であるため素子を動かしてフォーカシングやズーミングを行なうと移動機構等の機械的構造が複雑になるという欠点があった。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は、上記欠点を解消するためになされたもので、自由曲面を有する光学素子と光学特性可変反射鏡とよりなる光学系を提供するものである。

【0005】

又、本発明は、前記光学系と撮像素子とを備えた撮像装置を提供するものである。

【0006】

又、本発明は前記光学系と表示素子とを備えた観察装置、光学ファインダー等を提供するものである。

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明の光学系は非回転対称面と光学特性可変反射鏡とを備えたことを特徴とする。

【0008】

本発明の撮像装置は、非回転対称面を有する光学素子と光学特性可変反射鏡と、撮像素子とを備え、前記反射鏡と前記撮像素子とが同一の基板上に配置され、前記反射鏡と前記非回転対称面を有する光学素子の全部又は一部が光学系を構成することを特徴とする。

【0009】

又本発明の撮像装置は、非回転対称面を有する光学素子と光学特性可変反射鏡とを備え、前記反射鏡が前記光学素子のいずれかの面の近傍に配置されていることを特徴とする。

【0010】

【発明の実施の形態】

次の本発明の光学特性可変光学素子の実施の形態について述べる。

【0011】

本発明の光学特性可変光学素子の第1の実施の形態についてその光学素子として可変焦点レンズを例として述べると、例えば図1に示す通りの構成である。

図1において1は屈折率の異方性が負の液晶、2は配向膜、3は透明電極で透明基板4、5に設けられている。

【0012】

このような構成の光学素子において、屈折率の異方性が負の液晶1は、屈折率楕円体が図2に示すような形状をし、次の式(1)にて示す関係を有することを特徴としている。

$$n_e < n_{ox}, \quad n_e < n_{oy} \quad (1)$$

ここで n_e は異常光線の屈折率、 n_{ox} はx方向偏光の屈折率、 n_{oy} はy方向偏光の屈折率である。

【0013】

又、上記液晶1は、下記式(2)を満足する。

$$n_{ox} = n_{oy} \equiv n_o \quad (2)$$

ただし n_o は常光線の屈折率である。

【0014】

このような屈折率の異方性が負の液晶よりなる可変焦点光学素子は、電圧が印加されない場合、液晶1の分子のz方向が光軸の方向つまりZ方向を向くように配向膜3が形成されている。

【0015】

このとき入射光に対する液晶の屈折率は n_o であって、光学素子は凸レンズとして作用する。

【0016】

次に図1においてスイッチ9をオンにすると液晶分子10の方向は図3に示すように向くため入射光に対する屈折率は、下記式(3)のようになり低下する。

$$n = (n_e + n_o) / 2 \quad (3)$$

【0017】

このような屈折力の低下により、素子は凸レンズとしての屈折力が弱くなり焦点距離が大になって可変焦点レンズとして作用する。又可変抵抗13を変化させることにより、屈折率の変化は連続的になり、したがって光学素子の焦点距離

は連続的に変化させ得る。

【0018】

ここで、配向膜 2 は液晶分子 10 を垂直配向するように作られており、液晶分子 10 の方位角 A は、図 4 に示すように x , y 平面内でランダムになる。

【0019】

したがって、どのような偏光の光が光学素子に入射しても同一の焦点距離を有する可変焦点レンズとして作用する。

【0020】

なお、液晶 1 はもともと図 1 に示すようなホメオトロピック配向を有する性質を有しており、そのため配向膜 2 は用いなくともよい。

【0021】

また、液晶分子 10 の配向を変えるために電圧の変化に代えて電場の周波数、磁場、温度等を変化させてもよい。

【0022】

又、液晶分子 10 が図 5 に示すように規則的にほぼ直交する配向にしても図 4 に示す場合と同様な効果が得られる。この時の液晶分子 10 の配列の周期 S は、下記式 (4) のように使用する光の波長 λ に比べて小さい方が光の散乱が少なくフレアーが減るため好ましい。

$$0.5 \text{ nm} < S < \lambda \quad (4)$$

【0023】

ここで波長 λ は可視光の場合 $350 \text{ nm} \sim 700 \text{ nm}$ である。つまり可視光の場合式 (4) は下記の通りである。

$$0.5 \text{ nm} < S < 700 \text{ nm}$$

【0024】

又、近赤外光の場合は、波長 λ は $650 \text{ nm} \sim 1200 \text{ nm}$ であり、したがって式 (4) は下記のように表わすことができる。

$$0.5 \text{ nm} < S < 1200 \text{ nm}$$

【0025】

図 5 に示すように液晶分子 10 を配向させるためには、図 6 に示すようなピ

ッチ S の細かい溝 11 を規則的に設ければよい。この溝 11 の深さは 0.1 nm ~ 数十 nm で、例えば、日本光学会発行の菊田・岩田共著、「波長より細かな格子構造による光制御光学」27 巻 1 号 12 頁~17 頁 (1998) に記載されているような、描画露光とエッチングにより作ることができる。又、エッチング等により溝を形成した型を作り、この型を用いてプラスチックに転写してもよい。

【0026】

図 6 に示すパターンの代わりに、図 7 に示すような格子パターンの凹凸 12 等を用いてもよく、x, y 平面内を見た時の液晶分子 10 の方位が平均していればよい。つまり液晶 1 の屈折率が方位により異ならなければよい。

【0027】

このパターンは、配向膜 3 ではなく、透明基板 5 又は 6 の表面に形成してもよい。この場合、配向膜 3 は省略し得ることもある。又微細な溝 11 はへこみでなく逆に出っ張っていてもよい。

【0028】

このように、x y 平面内での液晶分子 10 の方位を平均化して偏光によらず、ぼけない液晶レンズは、液晶が屈折率の異方性が負の場合のみでなく、下記式 (5) に示すような正のネマチック液晶を用いても、図 1 と同様の構成の本発明の光学特性光学素子可以实现できる。

$$n_e > n_o \quad (5)$$

【0029】

又、高分子分散液晶、カイラルスメクチック液晶、カイラルコレステリック液晶、強誘電性液晶、反誘電性液晶、強誘電体等の電気光学効果、磁気光学効果をもつ物質も本発明に適用できる。

【0030】

上記の各物質は、本発明の前記実施の形態の他、後に詳細に述べる実施の形態にも適用できる。

【0031】

図 8、図 9 は、本発明の他の第 2 の実施の形態を示す図で、光軸方向及びそ

れと直交する方向に電場を加えることにより液晶 14 の配向変化を高速にした液晶レンズの例である。

【0032】

これら図における、液晶 14 は図 1 に示す液晶と同様屈折率異方性が負の液晶である。又この実施の形態は、電場を印加する部材として、図 1 等にするような電極とこれに接続する交流電源 8、スイッチ 9、可変抵抗 13 よりなる部材のほかに光軸 6 を挟んで相対して配置した電極 19 とこれに接続する交流電源 18、スイッチ 16、可変抵抗 17 よりなる他の電場を印加する部材を備えた構成の光学特性可変光学素子（可変焦点レンズ）である。

【0033】

この可変焦点レンズつまり、液晶レンズにおいて、図 8 はスイッチ 9 がオンでスイッチ 16 がオフの状態を示してある。

【0034】

この液晶レンズ 15 の焦点距離を変化させるためには、図 9 に示すようにスイッチ 9 をオフにし、これとほぼ同時にスイッチ 16 をオンにする。これにより電極 19 を通して液晶 14 に電場が加わり、液晶 14 は、その z 方向を光軸と平行に変え、したがって液晶レンズの屈折率は大になり凹レンズとしての作用が強くなり焦点距離が変化する。

【0035】

図 10 は、図 8、図 9 に示す液晶光学素子 15 を +z 軸方向より見た図であって、電極 19 の配置位置とその形を示した図である。

【0036】

図 11 は、図 8、図 9、図 10 に示す第 2 の実施の形態の変形例であって、これらと電極 19 の配置位置と形状が異なる変形例である。尚図 11 において（A）は +z 方向から見た図、（B）は -x 方向から見た図である。つまり図 11（B）に示す透明基板 4 又は 5 のうちの少なくとも一方の外周部に図 11（A）のように透明電極 4 とは絶縁された状態で電極 19 を設けたもので、図 10 に示すものとほぼ同様の効果が得られる。

【0037】

図 8 等に示す第 2 の実施の形態は、液晶分子 14 の z 軸を光軸 6 に平行に向ける時の応答速度が図 3 等に示す実施の形態の液晶レンズに比べて速くできることが特徴である。

【0038】

また、液晶分子 14 には、液晶レンズ 15 の焦点距離が長い場合も短くなる場合も電場が加わっており、液晶分子の配向にばらつきが少なく光の散乱が少ない点で優れている。

【0039】

また、可変抵抗 13 および 17 を適当に調整することによって液晶レンズ 15 の焦点距離を連続的に変化させることができる。その時の液晶分子 14 の配向は図 8 に示すスイッチ 9 がオンでスイッチ 16 がオフの状態と、図 9 に示すスイッチ 9 がオフでスイッチ 16 がオンの状態の中間の状態になる。

【0040】

以上の説明は、液晶分子 10 又は 14 の駆動交流周波数に対する誘電異方性も屈折率異方性と同様に負であるとして説明した。

【0041】

このような液晶の例としてはディスコティック液晶があげられている。

【0042】

また、図 8 等に示す第 2 の実施の形態において液晶分子 14 の代わりに正の屈折率異方性と誘電異方性をもつネマチック液晶 20 を用いた液晶レンズが図 12 に示す可変焦点レンズ 21 である。したがって下記の式 (5) の関係が成り立つ。

$$n_e > n_o \quad (5)$$

【0043】

ネマチック液晶 20 は、螺旋状にピッチ P で配向している。

【0044】

図 12 は、前記可変焦点レンズを用いたデジタルカメラ撮像装置である。この図 12 に示す撮像装置にて用いられている可変焦点レンズは、一つの液晶分子 20 の方向はほぼ X-Y 平面に平行である。液晶のピッチ P の値が可変焦点レン

ズ 21 を使用する光の波長 λ の 20 倍～60 倍程度以下であるとすれば、液晶分子 20 は、実用上等方媒質であるとみなすことができる。

【0045】

今ピッチ P が波長 λ 以下つまり下記式 (6) にて示す通りであるとする。

$$P < \lambda \quad (6)$$

【0046】

するとこの液晶は等方媒質に近づく。以下その理由をのべる。

【0047】

今、下記条件 (5-1) を満足するとする。

$$P \ll \lambda \quad (5-1)$$

【0048】

このように、ピッチ P が光の波長 λ に比べて非常に小さいと、液晶は入射光の偏光によらず、下記 (5-2) にて与えられる屈折率 n' をもつ媒質として作用する。

$$n' = (n_e + n_o) / 2 \quad (5-2)$$

【0049】

次に、ジョーンズのベクトルと行列によって、なぜ、この実施の形態のネマテック液晶が実行的に屈折率 n' の等方的な媒質としてふるまうのかを説明する。

【0050】

コロナ社発行の吉野勝美、尾崎雅則共著「液晶とディスプレイ応用の基礎」の 85 頁～92 頁に示される、式によれば、絶対的な位相の変化 $e^{i\alpha}$ ($-i\alpha$) を含めた時、図 12 に示した厚さ d のネマテック液晶に対するジョーンズの行列 W_t は下記の式 (5-3) にて与えられる。

$$W_t = e^{-i\alpha} R(-\Phi) \begin{bmatrix} \cos X - i \frac{\Gamma}{2} \frac{\sin X}{X} & \Phi \frac{\sin X}{X} \\ -\Phi \frac{\sin X}{X} & \cos X + i \frac{\Gamma}{2} \frac{\sin X}{X} \end{bmatrix} \quad (5-3)$$

【0051】

ただし、 Φ 、 Γ 、 α 、 X 、 $R(-\Phi)$ は夫々下記の式 (5-4)、(5-5)、(5-6)、(5-7)、(5-8) の通りである。

$$\Phi = 2\pi d / P \quad (5-4)$$

$$\Gamma = 2\pi (n_o - n_e) \frac{d}{\lambda} \quad (5-5)$$

$$\alpha = 2\pi \frac{(n_o + n_e)}{2} \frac{d}{\lambda} \quad (5-6)$$

$$X = \sqrt{\Phi^2 + \frac{\Gamma^2}{2}} \quad (5-7)$$

$$R(-\Phi) = \begin{bmatrix} \cos\Phi & -\sin\Phi \\ \sin\Phi & \cos\Phi \end{bmatrix} \quad (5-8)$$

ここで、常光を液晶分子の短軸方向の偏光と定義し、異常光を液晶分子の長軸方向の偏光、又は、長軸を光軸に垂直な平面へ投影した時の方向の偏光と定義すると、 Γ はネマテック液晶による常光と異常光の位相差を表わす。

【0052】

なお、 Φ はネマテック液晶の液晶分子の、振れ角をラジアンで表わしたものである。又式 (5-3)、式 (5-8) の座標系は、図 12 に示す x 、 y 、 z 軸のように取るものとする。つまり、 x 軸は紙面の表から裏側へ向かっており、 y 軸はカイラルネマテック液晶の入射面での液晶分子長軸の方向である。式 (5-1) の条件のもとで、式 (5-3) の W_t がどのようなになるかを調べてみる。

【0053】

式 (5-1) は次の式 (5-9) のように変形できる。

$$0 < P / \lambda < < 1 \quad (5-9)$$

【0054】

そこで $p/\lambda \rightarrow 0$ の時、式 (5-3) の W_t の極限值 $W_t L$ を求める。

【0055】

Γ/Φ は (5-10) にて与えられる。

$$\Gamma/\Phi = (n_e - n_o) (P/\lambda) \quad (5-10)$$

【0056】

したがって、 $P/\lambda \ll 1$ のとき Γ/Φ は式 (5-11) に示すようになる

$$|\Gamma/\Phi| \ll 1 \quad (5-11)$$

【0057】

したがって $P/\lambda \rightarrow 0$ のとき $|\Gamma/\Phi| \rightarrow 0$ となる。

【0058】

式 (5-11) の条件のもとでは、式 (5-7) の X は、下記式 (5-12)、(5-13)、(5-14) のようになる。

$$X = \Phi \sqrt{(1 + \frac{\Gamma^2}{2\Phi^2})} \approx \Phi + \frac{\Gamma^2}{4\Phi} \quad (5-12)$$

$$\cos X \approx \cos(\Phi + \frac{\Gamma^2}{4\Phi}) \quad (5-13)$$

$$\frac{\Gamma}{2} \frac{\sin X}{X} \approx \frac{\Gamma}{2} \frac{\sin(\Phi + \frac{\Gamma^2}{4\Phi})}{\Phi + \frac{\Gamma^2}{4\Phi}} \quad (5-14)$$

$$\Phi \frac{\sin X}{X} \approx \frac{\sin(\Phi + \frac{\Gamma^2}{4\Phi})}{1 + \frac{\Gamma^2}{4\Phi^2}} \quad (5-15)$$

と近似でき、 $P/\lambda \rightarrow 0$ のとき、それぞれ、

$$X \rightarrow \Phi \quad (5-16)$$

$$\cos X \rightarrow \cos \Phi \quad (5-17)$$

$$\frac{\Gamma}{2} \frac{\sin X}{X} \rightarrow 0 \quad (5-18)$$

$$\Phi \frac{\sin X}{X} \rightarrow \sin \Phi \quad (5-19)$$

となるので、 $P/\lambda \rightarrow 0$ のとき、 W_{tL} は (5-20) のようになる。

$$W_{tL} \rightarrow e^{-i\alpha} R(-\Phi) \begin{bmatrix} \cos \Phi & \sin \Phi \\ -\sin \Phi & \cos \Phi \end{bmatrix} = e^{-i\alpha} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5-20)$$

【0059】

これは屈折率 $n' = (n_e + n_o) / 2$ 、厚さ d の、光軸に沿って等方な媒質のジョーンズ行列にほかならない。

【0060】

したがって、 $P/\lambda \ll 1$ であるので、図12の可変焦点レンズ21は、屈折率 n' のレンズとして作用しぼけのない結像が実現できる。

【0061】

尚、図14のように液晶が中間の配列の場合においても、 n_e の値を、 n_e と n_o のある中間の値である異常光の屈折率 n_e' で置きかえることで、上記の式 (5-3) ~ (5-20) を満足するようにすることが可能である。

【0062】

尚、図12のように構成することにより電圧の印加のしかたとしては、連続可変に限らず、いくつかの離散的な電圧値の中から印加電圧を選択するようにしても、可変焦点レンズが実現できる。

【0063】

ここで、図12のような構成の可変焦点レンズの実例について、詳細に説明する。

【0064】

式 (5-20) には $P/\lambda \rightarrow 0$ の極限の場合が示されているが、実際の液晶

レンズ、可変焦点レンズではかならずしも極限值があてはまらない場合もあるので、式(5-3)の近似式を導いてみる。 $P/\lambda < 1$ でなくても良い。

【0065】

式(5-3)を P/λ の1次までを考えて近似すると、次のようになる。つまり、式(5-12)～式(5-14)で、 P/λ の1次まで、即ち式(5-10)より、 Γ/Φ の1次までを残し、 Γ/Φ の2次以上を省略すると式(5-21)のようになる。

$$\cos X - i \frac{\Gamma}{2} \frac{\sin X}{X} \approx \cos \left(\Phi + \frac{\Gamma}{4} \frac{\Gamma}{\Phi} \right) - i \frac{\Gamma}{2\Phi} \sin \left(\Phi + \frac{\Gamma}{4} \frac{\Gamma}{\Phi} \right) \quad (5-21)$$

$$\Phi \frac{\sin X}{X} \approx \sin \left(\Phi + \frac{\Gamma}{4} \frac{\Gamma}{\Phi} \right) \quad (5-22)$$

【0066】

これら式(5-20)、(5-21)、(5-22)より下記式(5-23)が得られる。

$$W_t \approx e^{-i\alpha} R(-\Phi) \begin{bmatrix} \cos \left(\Phi + \frac{\Gamma}{4} \frac{\Gamma}{\Phi} \right) - i \frac{\Gamma}{2\Phi} \sin \left(\Phi + \frac{\Gamma}{4} \frac{\Gamma}{\Phi} \right) & \sin \left(\Phi + \frac{\Gamma}{4} \frac{\Gamma}{\Phi} \right) \\ -\sin \left(\Phi + \frac{\Gamma}{4} \frac{\Gamma}{\Phi} \right) & \cos \left(\Phi + \frac{\Gamma}{4} \frac{\Gamma}{\Phi} \right) + i \frac{\Gamma}{2\Phi} \sin \left(\Phi + \frac{\Gamma}{4} \frac{\Gamma}{\Phi} \right) \end{bmatrix} \\ \equiv W_{tN} \quad (5-24)$$

【0067】

したがって、 W_{tN} の値が、等方媒質のジョーンズ行列とほぼ等しいとみなせるためには、 $|i \cdot \Gamma / 2\Phi|$ が0に近ければよい。この時 W_{tN} は下記式(5-24)に近づく。

$$e^{-i\alpha} \begin{bmatrix} \cos \left(\frac{\Gamma}{4} \frac{\Gamma}{\Phi} \right) & \sin \left(\frac{\Gamma}{4} \frac{\Gamma}{\Phi} \right) \\ -\sin \left(\frac{\Gamma}{4} \frac{\Gamma}{\Phi} \right) & \cos \left(\frac{\Gamma}{4} \frac{\Gamma}{\Phi} \right) \end{bmatrix} \quad (5-24)$$

【0068】

この式(5-24)は、液晶が入射光の偏光方向 $\Gamma/4 \cdot \Gamma/\Phi$ だけ回転するが、等方媒質であるとみなせることを意味している。

【0069】

したがって、式(5-25)を満足する、つまりおよそ式(5-26)を満足すれば、ぼけない可変焦点レンズが得られる。

【0070】

$$|i \cdot (\Gamma/2\Phi)| \div 0 \quad (5-25)$$

$$|\Gamma/2\Phi| < 0.11 \quad (5-26)$$

式(5-10)より、 $\Gamma/2\Phi$ は下記式(5-27)にて表わされる。

$$\Gamma/2\Phi = \frac{1}{2} (n_o - n_e) \frac{P}{\lambda} \quad (5-27)$$

【0071】

実際のレンズ付撮像装置、例えば電子カメラ、VTRカメラ、電子内視鏡等の、比較的低コストの製品等のレンズに本発明の可変焦点レンズを用いる場合、固体撮像素子の画素数が少なく、高解像を要求しない場合もあるので、式(5-26)は条件をゆるめることができ、下記条件(5-28)を満足すればよい。

$$|\Gamma/2\Phi| < 1 \quad (5-28)$$

【0072】

画素数の多い電子撮像装置のレンズ、フィルムカメラ、顕微鏡等の高画質の製品等のレンズでは高解像が要求されるので、下記条件(5-29)を満足することが望ましい。

$$|\Gamma/2\Phi| < \pi/6 \quad (5-29)$$

【0073】

光ディスクのレンズ等結像に用いないレンズあるいは画素数の少ない電子撮像装置等の場合、条件はさらにゆるめられ、下記条件(5-30)を満足すればよい。

$$|\Gamma/2\Phi| < \pi \quad (5-30)$$

【0074】

尚、本実施の形態に共通して言えることであるが、液晶がらせん状の配列の時、液晶分子の長軸方向が光軸に対して垂直でない時、つまり斜めの時は、式(5-1)、式(5-26)～式(5-30)の n_e を上記の n_e' で置きかえればよい。

【0075】

次に設計例を述べる。

【0076】

ネマテック液晶の厚さ d は、薄いとレンズのパワーが弱く役に立たないし、厚いと光が散乱しフレアの原因となるので、厚さ d は下記条件(5-31)を満たすことが望ましい。

$$2\mu < d < 300\mu \quad (5-31)$$

【0077】

又、光の波長 λ は可視光を考えると、下記条件(5-32)の範囲である。

$$0.35\mu < \lambda < 0.7\mu \quad (5-32)$$

【0078】

又、 $n_e - n_o$ の値は液晶の物性で決まり、下記(5-33)の範囲の物質が多い。

$$0.01 < |n_e - n_o| < 0.4 \quad (5-33)$$

【0079】

次に設計例として下記第1～第4の設計例を示す。

第1設計例

$$d = 15\mu$$

$$\lambda = 0.5\mu$$

$$n_e - n_o = 0.2$$

$$P = 0.06\mu$$

したがって

$$\Gamma / 2\Phi = (1/2) \cdot 0.2 \times 0.06 / 0.5 = 0.012$$

となり、式(5-20)、式(5-28)、式(5-29)、式(5-30)

)を満たす。

【0080】

第2設計例

$$d = 50 \mu$$

$$\lambda = 0.6 \mu$$

$$n_e - n_o = 0.25$$

$$P = 0.5 \mu$$

したがって

$$\Gamma / 2\Phi = (1/2) \cdot 0.5 \times 0.25 / 0.6 = 0.1042$$

となり、式(5-26)、式(5-28)、式(5-29)、式(5-30)

)を満たす。

【0081】

第3設計例

$$d = 100 \mu$$

$$\lambda = 0.55 \mu$$

$$n_e - n_o = 0.2$$

$$P = 3 \mu$$

したがって

$$\Gamma / 2\Phi = (1/2) \cdot 0.2 \times 3 / 0.55 = 0.5454$$

となり、式(5-28)、式(5-30)を満たす。

【0082】

第4設計例

$$d = 200 \mu$$

$$\lambda = 0.95 \mu$$

$$n_e - n_o = 0.2$$

$$P = 7 \mu$$

したがって

$$\Gamma / 2\Phi = (1/2) \cdot 0.2 \times 7 / 0.95 = 0.737$$

となり、式(5-28)、式(5-30)を満たす。

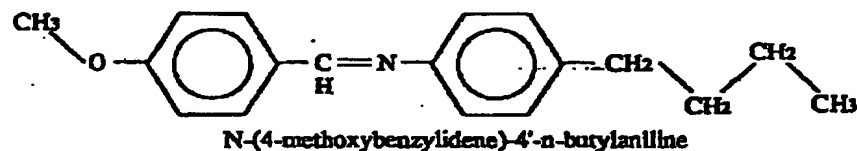
【0083】

以上の各設計例は、カイラルネマチック液晶を例にとって説明したが、ネマチック液晶のらせんのピッチを用いる光の波長よりも小さくするためには、カイラル剤を液晶に混ぜるとよい。

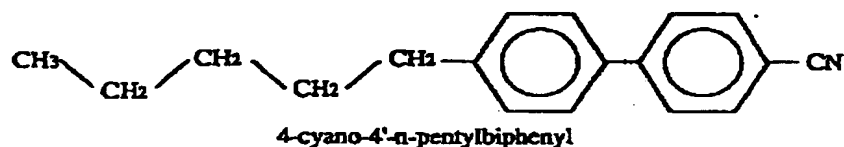
【0084】

カイラル剤としては、コレステリック液晶又は合成品の光学活性化合物等が用いられる。下記化学式(1)、化学式(2)はネマチック液晶の例で又化学式(3)、化学式(4)はカイラル剤の例である。

(1)



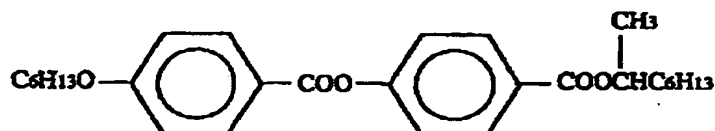
(2)



(3)



(4)



【0085】

前記式(5-30)において、展型的な液晶の例で考えると

$$n_e - n_o = 0.1 \quad \text{として}$$

$$(1/2) \times 0.1 (P/\lambda) < \pi \quad \text{より}$$

$$P < 20\pi \cdot \lambda \doteq 62.8\lambda \quad (5-61) \text{ が得られる。}$$

【0086】

同様に $n_e - n_o = 0.1$ を式 (5-28) にあてはめると、

$$P < 20\lambda \quad (5-62) \text{ が得られる。}$$

【0087】

したがって液晶を用いる製品によって式 (5-61) 又は式 (5-62) を満足するようにすれば、ぼけ（フレアー）の少ない可変焦点レンズ等の光学特性可変光学素子が得られる。又式 (5-1) ～ (5-30) はネマチック液晶に限らず、ピッチ P の螺旋構造をもつ液晶すべてにあてはまる。そのような液晶の例としては、コレステリック液晶、スメクチック液晶、強誘電性液晶、反強誘電性液晶等が挙げられる。

【0088】

図13は、図12に示す撮像装置で用いる可変焦点レンズ21をZ方向より見た図で、電極22a, 22b, 22c, 23a, 23b, 23cを可変焦点レンズ21の外周に6分割して透明電極4とは絶縁して配置されている。これら電極の対22a-23a, 22b-23b, 22c-23cは、3連スイッチ24により順番に交流電圧が加わるようになっている。このように電場の方向を変えることにより液晶の配向がほぼ等方的になるようにできる。もし、一方向だけに電場をかけると液晶分子の螺旋がほどけてしまうことがある。

【0089】

次に図12、図13に示す装置の動作について述べる。

【0090】

まず、スイッチ9がオンの時、3連スイッチ24はオフにしておく。これにより液晶分子20は分子長軸が光軸とほぼ平行になっている。この時液晶レンズ部25は弱いパワーの凹レンズになる。

【0091】

次にスイッチ9をオフにして、同時に3連スイッチ24をオンにすると、液

晶分子 20 には横方向の電場が加わるために、分子 20 の配向は高速で図 12 に示すように変わる。

【0092】

又、3 連スイッチ 24 の三つの電極に加わる電圧の切り換えの周期 T は、次の関係を満足させる必要がある。

【0093】

図 12 に示す光学系で、3 連スイッチ 24 がオフでスイッチ 9 がオンの状態で、ある時刻にスイッチ 9 をオフにすると液晶分子 20 は配向膜 3 の配向規制力等により 3 連スイッチをオンにしくとも、自然に図 12 に示すような配向になる。

【0094】

このように、自然に図 12 に示すような配向になるまでの時間を τ とすると次の関係を有することが必要である。

$$T \leq \tau \quad (7)$$

もし T があまり大で上記 (7) を満足しないと液晶分子 20 の螺旋がほどけて液晶分子 20 の配向が配向膜 2 に平行なホモニアス配向になるおそれがある。

【0095】

上記式 (7) は実用的には下記式 (7-1) を満足すればよい。

$$T \leq 10\tau \quad (7-1)$$

【0096】

この式 (7-1) を満足しないと、電極 22、23 に加わる電圧が弱いと、液晶分子 20 が完全な螺旋状配向になるまでに時間がかかる場合もあるからである。

【0097】

なお、液晶分子 20 の配向が一度図 12 に示すような状態に戻った後は、3 連スイッチ 24 を継続的にオフにしてもよい。つまり、液晶分子 20 の配向が光軸 7 に平行な状態のホメオトロピック配向からスイッチ 9 をオフにしても図 12 に示すような螺旋状配向に変化するまでの間だけ 3 連スイッチ 24 をオンにして

おいてもよい。これにより電気を節約でき有利である。

【0098】

又、図14に示すように可変抵抗13および17を適当に調整して液晶分子20の方向を光軸に対して斜めに配列させることによって可変焦点レンズ21の焦点距離を連続的に変えることができる。つまりズームレンズ等に用いると便利である。

【0099】

図15は、第3の実施の形態を示す図で、図12乃至図14に示す可変焦点レンズをズームレンズに用いた例である。図において21A、21Bは夫々図12等に示す可変焦点レンズ21であり、そのうち21Aは絞り26の前方に又、21Bは絞り26の後方に配置された夫々前群と後群である。つまりこのズームレンズは、凹の作用をもつ可変焦点レンズ21Aよりなる負の屈折力の前群と絞り26と凸の作用をもつ可変焦点レンズ21Aと凸レンズ29よりなり全体として正の屈折力をもつ後群とよりなり、各レンズを機械的に移動させることなしに可変焦点レンズ21Aと21Bの焦点距離を変化させることにより、レンズ系全系の焦点距離を変化させると共に像面の移動を補正することができる。又、同様にピント合わせを行なうことができる。

【0100】

又、この例では、可変焦点レンズ21Aを駆動してその焦点距離を変化させる際に液晶25bに加える電界強度を変化させる代りに電界の周波数を f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 の4段階に変化させるもので、液晶として周波数によって誘電異方性の符号が変わる液晶を用いている。周波数 f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 を $f_1 < f_2 < f_3 < f_4$ とすると液晶25bの誘電異方性が f_1 と f_4 とで符号が逆になるように選んでいる。

【0101】

このズームレンズにおいて、スイッチ24を切り換えることにより、周波数を変化させる。この場合、電極22Fは省略してもよい。又周波数は、 f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 のように段階的に変化させる代りに連続的に変化させるようにしてもよい。又周波数の変化と同時に電界の強さを変化させてもよい。

【0102】

又、液晶 21A、21B は螺旋状液晶に限らず誘電異方性が周波数とともに変化する液晶を高分子中に分散させた高分子分散液晶を用いてもよい。可変焦点レンズ 21B は、高分子分散液晶を用いた光学特性可変光学素子の一例である。

【0103】

周波数を連続的に変え得る交流電源 9e が二つの電極 3 に接続され、交流電源の周波数を変えることにより光学素子の焦点距離を変化させ得る。

【0104】

また液晶レンズ 21A と液晶レンズ 21B とを連動させることによって、ズームングを行なうことができる。又、液晶レンズ 21B のみを変化させればフォーカシングを行なうことができる。

【0105】

尚、電極 22G は用いなくともよいし、交流電源 9e の周波数 f の変化に連動させて 22G に加わる電圧を変化させてもよい。

【0106】

尚、図 12 に示す撮像装置において、液晶分子 20 の代わりにカイラルコレステック液晶、カイラルスメチック液晶、強誘電性液晶、反強誘電性液晶、屈折率異方性が負の液晶、強誘電体高分子分散液晶等を用いてもよい。これら液晶を用いた場合も前記式 (6)、(7)、(7-1)、(5-26)、(5-28)、(5-29)、(5-30)、(5-61)、(5-62) は同様にあてはまる。

【0107】

図 16、図 17 に示す光学系は、図 12 に示す光学系において、液晶分子 20 の代わりにポリマーの中に直径の平均値が D のネマチック液晶 34 を粒状に配置したものである。

【0108】

この図 16、17 に示す例は、分割電極 22、23 は、図 13 と同じような動作をするがレンズ 32、33 の周辺に透明電極 3 に対し絶縁させ配置されている。又 3 連スイッチ 24 の動作は、図 12、13 に示す光学系と同じである。

【0109】

この図16、17に示す光学系は、スイッチ9がオンであり、液晶分子29が図16に示すようにホメオトロピック配向の状態であり、又スイッチ9をオフにし、3連スイッチ24をオンにすると液晶分子29に横方向の電場が加わり液晶分子29は高速に、ややランダムではあるがxy平面に平行に配向し、図17のようになる。又式(7)、(7-1)は、いずれも図16、17の光学系にもあてはまる。

【0110】

このように、つまり図17のように液晶分子29の配列は、光軸6に直角に近く液晶35の屈折率の変化が一層大になる点で優れている。

【0111】

ここで、液晶分子34の平均径Dが下記条件(8)を満足するようにすれば、光の散乱を防ぐことができ望ましい。

$$D < \lambda / 5 \quad (8)$$

ただし λ は入射する光の波長である。

【0112】

又、液晶35の厚さが薄い場合、式(8)の代わりに下記の式(8-1)を満足すれば実用上問題はない。

$$D < 2\lambda \quad (8-1)$$

【0113】

また液晶35の全体の体積に対して液晶分子34の占める割合をffとすると可変焦点レンズとしての効果が十分得られるようにするためには下記条件(9)を満足することが望ましい。

$$0.5 < ff < 0.999 \quad (9)$$

【0114】

ffの値が条件(10)の上限0.999を超えるとポリマーが少なくなり、液晶分子34の粒子が形成できなくなる。又下限の0.5を下回ると可変焦点レンズとしての効果つまり焦点距離の変化量が減少する。

【0115】

又ポリマーを多くして液晶 35 を固体状に近づけたいときは、条件 (9) の代わりに下記条件 (9-1) を満足することが望ましい。

$$0.1 < f f < 0.5 \quad (9-1)$$

図 18 は、本発明の光学系の他の実施の形態を示すもので、温度を変化させて液晶の屈折率を変化させるようにした光学系の例を示す。

【0116】

正の屈折率異方性をもつネマチック液晶 36 は、転移温度 T_C 以下の場合、図 18 に示すように Z 方向に分子長軸に向けたホメオトロピック配向であり、屈折率が低い n_0 の状態である。この時、図示するようにスイッチ 9 はオンである。

【0117】

次にヒーター 41 のスイッチ 43 をオンにして、ヒーター 41 により液晶を加熱することにより液晶分子 36 の温度が転移温度 T_C よりも高くなると図 19 に示すように液晶分子 36 がランダムに動く透明な液体になる。この時、スイッチ 9 はオフにしておく。

【0118】

この図 19 に示す状態では、液晶分子 36 の屈折率 n は下記の式 (10) にて与えられる。

$$n = (2n_0 + n_e) / 3 \quad (10)$$

【0119】

つまり液晶の屈折率 n は高くなり、その結果、凸レンズ 32b の屈折力が強くなる。

【0120】

図 18 の状態において、配向膜 2 による配向規制力が充分であれば、スイッチ 9 はオフでもよい。しかし、スイッチ 9 をオンにすれば液晶分子 36 が規則的に並ぶため液晶分子 33 による光の散乱を防止し得るので望ましい。

【0121】

液晶に液体への相転移をおこさせるために、図 18、図 19 に示す光学系は、ヒーター 41 を用いて加熱したが、交流電源の周波数を高周波にして液晶分子

33の分子振動を高めることによって温度を上昇させて相転移をおこさせてもよい。

【0122】

以上述べた本発明の光学特性可変光学素子は、光学素子を構成する液晶の分子の配向を変えるために主として電場の強さと方向を変化させることにより行なった。

【0123】

しかしながら、液晶分子の配向を変えるためには、電場の強さ等の変化に限ることなく、液晶に加える電場の周波数を変えることによっても行なうことができる。又磁場の強さを変化させることによっても液晶分子の配向を変えることができる。

【0124】

又、このように液晶に加える電場の周波数を変化させることによって液晶分子の配向を変化させる方法や、液晶に加える磁場の強さを変化させる方法は、例えば、図1、図3、図8、図9、図12、図15、図16、図19、図20等に例として示した各光学系に対して適用することができる。

【0125】

電場の周波数の変化により液晶分子の配向を変化させる方法においては、誘電異方性の正、負が入れ替わる液晶を用いれば、電場の周波数の変化により高速に液晶分子の配向を変化させ得るため特に有利である。

【0126】

又、図20は磁場Hによって屈折率を変化させるレンズの例を示す。この図において、45はレンズ、46は磁気光学効果をもつ物質、47は基板、48は配向膜、49Aはスイッチ、49Bは交流電源、49Cは可変抵抗、49Dはコイル、49Eは鉄芯である。

【0127】

使用する磁気光学効果をもつ物質46としては、鉛ガラス、水長、液晶等がある。配向膜48は液晶の場合は設けた方がよい。

【0128】

又高速にて液晶分子の配向を変化させるためには、電圧がオフの状態の代わりにある程度の電圧をあらかじめ付与しておくことが好ましい。そして、液晶分子の配向を変化させたい時に、電圧をより高い電圧にすることにより液晶分子の配向を高速で変化させ得る。

【0129】

前述の図12に示す例は、光学特性可変光学素子を用いた本発明のデジタルカメラ用撮像装置であるが、この例について更に詳細に述べる。

【0130】

図12において、絞り26の後方に可変焦点液晶レンズ21と凹面を含むレンズ28と凸レンズ42と液晶レンズ部25とにて構成された光学系が配置されている。凸レンズ42は、固体撮像素子30に対して主光線が垂直又はほぼ垂直例えば固体撮像素子の受光面に対して主光線の角度が $90^{\circ} \pm 20^{\circ}$ で入射するようにするために設けてある。又、凹レンズ28はペッツバル和を改善して像面湾曲を補正するために設けてある。又絞り26側（入射側）の凸レンズ27は、物体側の面が凸面であり、これにより球面収差を良好に補正するようにしている。又液晶レンズ25は、色収差を補正するために凹レンズの形状にしてある。又、レンズ27、28、29のレンズ面のうちのいずれかの面を非球面にすることにより収差を一層良好に補正することが可能になり好ましい。又液晶レンズ25は絞り26の近傍に位置させることが液晶レンズ25の有効径を小さくすることができ、その厚さを減少させ得るため好ましい。

【0131】

更に液晶レンズ25の中の液晶分子20の配向が変化した場合、凸レンズ27、液晶レンズ25、凹レンズ28、凸レンズ29からなる光学系の収差が変動し、又液晶レンズ25によって生ずる光の散乱の大きさも変化し、これによって光学系31のMTFが変化する。

【0132】

前述の図12にて示す撮像装置においては、前記の収差の変動や光の散乱の大きさの変化によるMTFの変化を電子回路にて補正するようにしている。つまり物体位置の変化によりピント合わせを行なうために液晶レンズ25の焦点距離

を変化させたときのMTFの変化の補償を、回路44の中のエンハンス回路あるいは画像処理回路の処理を変えて行なうようにした。具体的には、ウィナーフィルタ等のデジタルフィルタの特性を変化させる、あるいはエンハンス回路のエッジ強調の量を変える等の手段を用いればよい。ここでMTFの変化は光学系31の設計データから求めてもよく、又実際のカメラを1台1台測定してMTF補償量を変えてもよい。

【0133】

図35は、前記電子回路による補正に付いて説明するための図で、この図では、赤外光投射型のアクティブ測距方式での測距をおこなう例である。ここで得られた距離情報によって、液晶レンズのMTF変化を補うべく、エンハンス量等が選択される。そしてデジタルフィルタが掛けられて最終画像が作られる。

【0134】

図21は、本発明の撮像装置の他の例を示す図で、自由曲面レンズ51（非回転対称面を有するレンズ）を用いたデジタルカメラ50の例である。52は可変焦点ミラー、53はアルミコーティングされた薄膜、54は電極、55は固体撮像素子、56は基板、57は電源、58はスイッチ、59は可変抵抗器である。

【0135】

可変焦点ミラー52の例としては、オプティックス コミュニケーションズ (Optics Communications), 140巻(1997年) 187頁乃至190頁に示されているメンブレインミラーがあり、電極54の間に電圧を印加すると静電気力により薄膜53を変形させて反射鏡の焦点距離が変化する。そしてピント調整ができる。物体からの光60は自由曲面プリズム51の面 R_1 、 R_2 で屈折され、反射鏡（薄膜）53にて反射され、自由曲面プリズム51の面 R_3 で反射され、面 R_4 で屈折されてから固体撮像素子55に入射する。

【0136】

このように、この装置は、自由曲面 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 および反射鏡53とにより撮像光学系を構成する。特に自由曲面 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 の形状を最適化することにより物体像の収差を最小にしている。

【0137】

図21の撮像装置において、反射鏡の開口の形状は、非点収差等を補正するためにY軸方向に長い楕円形にするのがよい。反射鏡52への入射光と反射鏡52からの出射光を含む平面と反射鏡52との交線の方に長い楕円形にするのがよい。又、この図に示す例では、反射鏡52と薄膜53と固体撮像素子55とを別体で作って基板56上に配置している。しかし、反射鏡52および薄膜53をシリコンリソグラフィープロセス等で作ることもできるので基板56をシリコンにて形成し、固体撮像素子55と共にリソグラフィープロセスで反射鏡52の少なくとも一部を基板56上に形成してもよい。

【0138】

これによって、固体撮像素子55と共に反射鏡52とが一体化され小型化、低コスト化等の点で有利である。また反射鏡52は固定焦点のミラーとしても良い。この場合でも反射鏡52はリソグラフィープロセスで作ることができる。

【0139】

又、図示していないが、基板56上に反射型液晶ディスプレイ又は透過型液晶ディスプレイをリソグラフィープロセスにより一体に形成してもよい。この基板56は、ガラスにて形成してもよく、このガラス基板上に薄膜トランジスター等の技術により固体撮像素子や液晶ディスプレイを形成すればよい。

【0140】

尚、自由曲面プリズム51は、プラスチックモールドやガラスモールド等にて形成することにより任意の所望形状の曲面を容易に形成することができ、製作も簡単である。

【0141】

図22は自由曲面プリズム51を用いたデジタルカメラの他の例である。このデジタルカメラは、図21に示すデジタルカメラにおける反射鏡52の代わりに可変焦点ミラー61を用いた例である。

【0142】

可変焦点ミラー61は、自由曲面プリズム51の面 R_2 にこのプリズム51と一体に設けてある。この可変焦点ミラー61は、反射鏡62、自由曲面プリズ

ムの面 R_2 に形成した透明電極 63 と、配向膜 64、65 とよりなり、配向膜 64、65 との間に液晶 66 を設けたものである。

【0143】

ここで、可変焦点ミラー 61 は、自由曲面プリズム 51 とは別体にて形成し、両者を貼り合わせてもよく、又自由曲面プリズムの面 R_2 に透明電極 63 と配向膜 64 とを形成してもよい。

【0144】

物体よりデジタルカメラへ入射する光 60 は、図 21 に示すカメラと同様に自由曲面プリズム 51 の面 R_1 、 R_2 にて夫々屈折され、その後反射鏡 62 にて反射され、配向膜 64、液晶 65、配向膜 63、透明電極 62 を通って自由曲面プリズム 51 に入射し、面 R_3 にて反射され面 R_4 より出射して固体撮像素子 55 の受光面に入射する。ここで、可変焦点ミラー 61 に加える電圧を変化させることによりこのミラー 61 の焦点距離を変化させ、ピント調整することが可能である。

【0145】

この可変焦点ミラー 61 にて用いる液晶 66 には高分子分散液晶が用いられており、図 15、図 16、図 17 にもとづき説明したように、液晶分子に加わる電場を変化させることによって、例えば、図 16 に示す状態から図 17 に示す状態に変化し、これにより液晶の屈折率は変化し、可変焦点ミラーの焦点距離は変化する。

【0146】

この図 22 に示すデジタルカメラの実施の形態の場合、この図に示すように図 16 に示すデジタルカメラにて用いられている電極 22、23 は用いなくとも図 16 のデジタルカメラと同様の作用を有する。

【0147】

つまり図 22 において、スイッチ 58 がオフの場合、液晶の配列はランダムであり、屈折率の高い状態にある。したがって可変焦点ミラー 61 は光を収束させる作用が強い。ここでスイッチ 58 をオンにすると液晶は一方向に揃った配列になるので、屈折率は低くなり、光を収束させる作用は弱くなる。したがって可

変焦点ミラー 61 は焦点調整が行なわれる。

【0148】

また可変焦点ミラー 61 を自由曲面プリズム 51 に二つ以上用いることによりズームレンズとして用いることが可能になる。

【0149】

又、図 21 に示すデジタルカメラの可変焦点ミラー 52 を図 22 に示す可変焦点ミラー 61 におき代えてもよい。又配光膜 64、65 は用いなくともよい。

【0150】

又、可変焦点ミラー 61 の液晶光学素子として透明電極 63 を電極を兼ねた反射鏡 62 で代用してもよい。

【0151】

また高分子分散液晶 66 の替わりに螺旋配向のネマチック液晶、コレステリック液晶、スメクチック液晶等を用いてもよい。

【0152】

図 23 は、図 21 又は図 22 に示すデジタルカメラにおける反射板 53 又は可変焦点ミラー 61 の代わりに回折光学素子 70 を用いた例である。つまり回折光学素子 70 は反射板 72 上に形成された回折面 71 と透明電極 73、配向膜 74 と、液晶 75 とより構成されている。

【0153】

この図 23 に示すデジタルカメラは、物体よりの光が、他の例と同様に自由曲面プリズムに入射し、プリズム 51 を透過後回折光学素子 70 に入射し、ここで回折面 71 にて回折作用を受けた後に回折光学素子 70 を射出して再び自由曲面プリズム 51 に入射し、図示するように反射してからこれより射出して固体撮像素子 55 に入射する。

【0154】

ここでスイッチ 77 をオンにすると液晶分子の配向が垂直方向に変わり回折光学素子 70 の回折次数が変化するために焦点距離が変化してフォーカシングを行なうことができる。

【0155】

ここで液晶分子のピッチは、図 12 に示す液晶と同様に式 (6) を満足する。又この例は、回折面 71 が反射面になっており、反射型の回折光学素子の例である。

【0156】

図 24 は図 12 に示す可変焦点レンズを用いた可変焦点眼鏡の例である。つまり眼鏡レンズとして可変焦点レンズを用いたもので、レンズ 30H、31H と配向膜（図示せず）と電極 3 等よりなる可変焦点レンズを眼鏡枠 80 に取り付けた構成である。

【0157】

尚図において、8、18 は交流電源、9、24 はスイッチ、13、17 は可変抵抗、25 は液晶である。又 P はピッチである。

【0158】

この可変焦点レンズは、電極 22、23 が図 15 に示すものと同様にレンズ 30H、31H の周辺部に設けられている。この電極 22、23 を透明電極にすれば、眼鏡の視野の周辺が明るくなり好ましい。

【0159】

以上述べた本発明の実施の形態は、光学特性可変光学素子として主として可変焦点レンズを用いたものであるが、光学特性可変光学素子として、回折光学素子、フレネルレンズ、プリズム、レンチキュラーレンズ等を用いてもよい。夫々の素子を構成する光の屈折又は反射する部分を屈折率可変物質つまり種々の液晶、強誘電体、電気光学効果を持つ物質にておきかえればよい。

【0160】

又、液晶の分子配向を変化させるために電場以外に磁場、電場の周波数、磁場の周波数を変化させてもよい。

【0161】

以上述べた本発明の光学特性可変光学素子を用いた光学系は、物体像を形成しその像を CCD や銀塩フィルムといった撮像素子に受光させて撮影を行なう撮影装置、とりわけカメラや内視鏡に用いることができる。また、物体像を接眼レンズを通して観察する観察装置、とりわけカメラのファインダー部の対物光学系

としても用いることが可能である。以下に、その実施形態を例示する。

【0162】

図25、26、27は、第5の実施の形態で本発明の光学特性可変光学素子を含む結像光学系を電子カメラのファインダー部の対物光学系に組み込んだ構成の概念図を示す。これらの図のうち図25は電子カメラ80の外観を示す前方斜視図、図26は同後方斜視図、図27は電子カメラ80の構成を示す断面図である。電子カメラ80は、この実施の形態では、撮影用光路82を有する撮影光学系81、ファインダー用光路84を有するファインダー光学系83、リリース85、フラッシュ86、液晶表示モニター87等を含み、カメラ80の上部に配置されたリリース85を押圧すると、それに連動して撮影用対物光学系88を通して撮影が行なわれる。撮影用対物光学系は、透過型の光学特性可変光学素子（図の斜線部、ここでは液晶を用いている）を、複数備えており、ズーミングやフォーカシング作用を行なう。撮影用対物光学系88によって形成された物体像が、ローパスフィルター、赤外カットフィルター等のフィルタ91を介してCCD89の撮像面90上に形成される。このCCD89で受光された物体像は、処理手段92を介し、電子画像としてカメラ背面に設けられた液晶表示モニター87に表示される。また、この処理手段92にはメモリー等が配置され、撮影された電子画像を記録することもできる。なお、このメモリーは処理手段92と別体に設けてもよいし、フロッピーディスク等により電子的に記録書き込みを行なうように構成してもよい。またCCD89の代わりに銀塩フィルムを配置した銀塩カメラとして構成してもよい。

【0163】

さらに、ファインダー用光路84には、反射型光学特性可変光学素子66Hを備えた結像光学系をファインダー用対物光学系として配置してある。また、カバー部材として正のパワーを有するカバーレンズ94を配置し、画角を拡大している。なお、このカバーレンズ94と結像光学系の絞りSより物体側のプリズムVP1とでファインダー用対物光学系93の前群GFを、結像光学系の絞りSより像側のプリズムVPでファインダー用対物光学系93の後群GRを構成している。絞りSを挟んだ前群GFと後群GRのおののにおに、光学特性可変光学素子6

6Hを配置することにより、ズーミングとフォーカシングを行なっている。ここでは、反射プリズムと一体形成した、反射型の光学特性可変光学素子を用いている。ここでは、液晶を用いているが、前述した通り光学特性を変化させることによりズーミングとフォーカシングの操作を行なっている。この制御は、処理手段により撮影用対物光学系のズーミング、フォーカシング作用に連動して行なわれる。このファインダー用対物光学系93によって形成された物体像は、像正立部材であるポロプリズム95の視野枠97上に形成される。尚、視野枠97は、ポロプリズム95の第1反射面96と第2反射面98との間を分離し、その間に視野枠97は配置されている。このポリプリズム95の後方には、正立正像にされた像を観察者眼球Eに導く接眼光学系99が配置されている。

【0164】

このように構成されたカメラ80は、ファインダー用対物光学系93を少ない光学部材で構成でき、高性能及び小型化が実現できると共に、対物光学系93の光路自体を折り曲げて構成できるため、カメラ内部での配置の自由度が増し、設計上有利となる。

【0165】

次に、図28は、本発明の結像光学系を電子カメラ80の撮影部の対物光学系88に組み込んだ構成の概念図を示す。この例の場合、撮影用光路82上に配置された撮影用対物光学系88は、反射型の光学特性可変光学素子を用いた結像光学系である。この撮影用対物光学系により形成された物体像は、ローパスフィルター、赤外カットフィルター等のフィルタ91を介してCCD89の撮像面90上に形成される。このCCD89で受光された物体像は、処理手段92を介し、液晶表示素子(LCD)100上に電子像として表示される。また、この処理手段92は、CCD89で撮影された物体像を電子情報として記録する記録手段101の制御も行なう。LCD100に表示された画像は、接眼光学系99を介して観察者の眼Eに導かれる。この接眼光学系99は、本発明の結像光学系に用いられているものと同様の形態を持つ光学特性可変光学素子66Hを備えた偏芯プリズムからなり、前記光学素子の特性を変化させることにより観察者の視度に合わせてLCDの虚像の奥行きを調整可能としている。この例では入射面102

と、反射面 103 と、反射と屈折とを兼用する面 104 の 3 面から構成されている。また、2 つの反射作用を持った面 103、104 のうち少なくとも一方の面、望ましくは両方の面が、光束にパワーを与え、かつ、偏芯収差を補正する唯一の対称面を持つ面対称自由曲面にて構成されている。そして、この唯一の対称面は、撮影用対物光学系 88 の前後の群 GF、GR に配置された偏芯プリズム、VP1、VP2 が有する面対称自由曲面の唯一の対称面と略同一平面上に形成されている。

図 38 は、図 28 と同様に本発明の結像光学系を電子カメラ 80 の撮像部の対物光学系 88 に組み込んだ他の構成の概念図で、図 28 と接眼光学系 99B が異なっている。即ち図 38 に示す電子カメラは、図 28 に示す電子カメラの接眼光学系 99 における偏角プリズム VP3 の射出側の面 104 の近傍に、図 12 等 に示すような可変焦点レンズ 21 を設けたものである。このように偏角プリズム VP3 と可変焦点レンズ 21 とを組み合わせることにより、偏角プリズムによる視度変換と可変焦点レンズによる倍率の変化の両方を行ない得るようにした。

【0166】

このように構成されたカメラ 80 は、撮影用対物光学系 88 を少ない光学部材で構成でき、高性能で小型にできると共に、光学系全体を同一平面上に並べて配置できるため、この配置平面と垂直方向の厚みの薄型化が実現できる。

【0167】

次に、図 29 は、本発明の光学特性可変光学素子を電子内視鏡の観察系の対物光学系 120 に組み込んだ構成の概念図を示す。この例の場合も、観察系の対物光学系 110 は、ズーミングフォーカシングを行なう反射型光学特性可変光学素子 128 を備えた結像光学系を用いている。この電子内視鏡は、図 29 (A) に示すように、電子内視鏡 111 と、照明光を供給する光源装置 112 と、その電子内視鏡 111 に対応する信号処理を行なうビデオプロセッサ 113 と、このビデオプロセッサ 113 から出力される映像信号を表示するモニター 114 と、このビデオプロセッサ 113 と接続され映像信号等に記録する VTR デッキ 115、および、ビデオディスク 116 と、映像信号を映像としてプリントアウトするビデオプリンタ 117 と共に構成されており、電子内視鏡 111 の挿入部 11

8の先端部119は、図29(B)に示すように構成されている。光源装置112から照明された光束は、ライトガイドファイバー束126を通して照明用対物光学系127により、観察部位を照明する。そして、この観察部位からの光が、カバー部材124を介して、観察用対物光学系125によって物体像として形成される。この物体像は、ローパスフーフィルター、赤外カットフィルター等のフィルター121を介してCCD122の撮像面123上に形成される。さらに、この物体像は、CCD122によって映像信号に変換され、その映像信号は、図29(A)に示すビデオプロセッサ113により、モニター114上に直接表示されると共に、VTRデッキ115、ビデオディスク116中に記録され、また、ビデオプリンタ117から映像としてプリントアウトされる。

【0168】

このように構成された内視鏡は、ズーミングや、フォーカシング機能を備えているにもかかわらず、少ない光学部材で構成でき、高性能・小型化が実現できる。

【0169】

また、以上のプリズムを複数用いた実施の形態の結像光学系の前群や後群に設けられた偏芯プリズムとしては、何れも光学面3面からなり、その中の1面が全反射作用と透過作用とを兼用する面で構成された内部反射回数2回のタイプのプリズムを用いたが、本発明に用いる偏芯プリズムはこれに限られるものではない。

以上述べた本発明の撮像装置において、例えば図21に示す撮像装置は、自由曲面と可変ミラーとよりなる光学系を備えたものであるが、これら装置の光学系で用いられている自由曲面は、他の光学特性可変光学素子を用いた撮像装置の光学系に用いることも可能である。例えば図12等に記載された可変焦点レンズを用いた撮像装置の光学系にこの自由曲面を用いることも可能である。即ち前記自由曲面は、光学特性可変反射鏡以外の光学特性可変光学素子を用いた光学系、撮像光学系、光学装置、観察装置に適用することも可能である。

また、本発明の光学系は接眼光学系、ファインダー光学系、電子撮像装置のレンズ系（例えば図15）、デジタルカメラ撮像装置のレンズ系として用いられ

る。

【0170】

本発明に用いることができるいくつかの可変焦点プリズムVPの例を図30～図32に示す。なお、いずれも像面136に結像するプリズムVPとして説明するが、光路を逆にして像面136側から被写体からの光線が入射し、瞳131側に結像するプリズムVPとしても使用することができる。又単体で結像光学系や、観察光学系として構成してもよい。又、どの面に光学特性可変光学素子を用いるかは、使用形態により決定してよい。

【0171】

図30の場合は、プリズムVPは第1面132、第2面133、第3面134、第4面135からなり、入射瞳131を通過して入射した光は、第1面132で屈折してプリズムVPに入射し、第2面133で内部反射し、第3面134に入射して内部反射し、第4面135に入射して屈折されて、像面136に結像する。光学特性可変光学素子を第3面134と第2面133に設けることにより、ズーミングとフォーカシングを可能としている。

【0172】

図31の場合は、プリズムVPは第1面132、第2面133、第3面134、第4面135からなり、入射瞳131を通過して入射した光は、第1面132で屈折してプリズムVPに入射し、第2面133で内部反射し、第3面134に入射して全反射し、第4面135に入射して内部反射し、再び第3面134に入射して今度は屈折されて、像面136に結像する。ここでは、第2面133と第4面135に光学特性可変光学素子を用いた。

【0173】

図32の場合は、プリズムVPは第1面132、第2面133、第3面134、第4面135からなり、入射瞳131を通過して入射した光は、第1面132で屈折してプリズムVPに入射し、第2面133で内部反射し、第3面134に入射して内部反射し、第2面133に再度入射して内部反射し、第4面135に入射して屈折されて、像面136に結像する。ここでは第2面133と第3面134に光学特性可変光学素子を用いた。

【0174】

又、本発明の光学特性可変光学素子は、画像表示装置に利用することができる。この画像表示装置を用いた第6の実施の形態として、図33に頭部装着型の画像表示装置を観察者頭部に装着した状態を、図34にその断面図を示す。この構成は、本発明の反射型光学特性可変光学素子を視度調節のために用いた偏芯プリズム光学系を図34に示すように接眼光学系140として用いており、接眼光学系140と画像表示素子141からなる組みを左右一対用意し、それらを眼幅距離だけ離して支持することにより、両眼で観察できる据え付け型又は頭部装着型画像表示装置のようなポータブル型の画像表示装置142として構成されている。

【0175】

すなわち、表示装置本体142には、上記のような接眼光学系140が左右一対備えられ、それらに対応して像面に液晶表示素子からなる画像表示素子141が配置されている。そして、表示装置本体142には、図33に示すように、左右に連続して図示のような側頭フレーム143が設けられ、表示装置本体142を観察者の眼前に保持できるようになっている。

【0176】

また、側頭フレーム143にはスピーカー144が付設されており、画像観察と共に立体音響を聞くことができるようになっている。このようにスピーカー144を有する表示装置本体142には、映像音声伝達コード145を介してポータブルビデオカセット等の再生装置136が接続されているので、観察者はこの再生装置146を図示のようにベルト箇所等の任意の位置に保持して、映像音響を楽しむことができるようになっている。図33の符号147は再生装置146のスイッチ、ボリューム等の調節部である。なお、表示装置本体142の内部に映像処理、音声処理回路等の電子部品を内蔵させてある。

【0177】

なお、コード145は先端をジャックにして、既存のビデオデッキ等に取り付け可能としてもよい。さらに、TV電波受信用チューナーに接続してTV鑑賞用としてもよいし、コンピュータに接続してコンピュータグラフィックスの映像

や、コンピュータからのメッセージ映像等を受信するようにしてもよい。又、邪魔なコードを排斥するために、アンテナを接続して外部からの信号を電波によって受信するようにしてもよい。

【0178】

本発明において、特許請求の範囲に記載するもののほか下記の各項に記載するものもその目的に寄与する。

なお、本発明全般に言えることであるが、接眼光学系、ファインダー光学系、撮影用対物光学系、撮像光学系、顕微鏡のレンズ系、電子撮像装置のレンズ系（例えば図15）、デジタルカメラ撮像装置のレンズ系等はいずれも結像光学系の例である。また光学装置というのは光学系を有する装置のことである。

【0179】

(0) 特許請求の範囲の請求項1に記載する光学系で、光学特性可変反射鏡としてメインブレインミラーを用いたことを特徴とする光学系。

【0180】

(1) 特許請求の範囲の請求項2又は3に記載する撮像装置で、光学特性可変反射鏡としてメインブレインミラーを用いたことを特徴とする撮像装置。

【0181】

(2) 特許請求の範囲の請求項2又は3あるいは前記の(1)の項に記載する撮像装置で、前記光学特性可変反射鏡および撮像素子をリソグラフィプロセスを用いて製作することを特徴とする撮像装置。

【0182】

(3) 特許請求の範囲の請求項3に記載する撮像装置で、前記非回転対称面を有する光学素子の少なくとも1面に光学特性可変反射鏡を又他の少なくとも1面に固体撮像素子を配設したことを特徴とする撮像装置。

【0183】

(4) 特許請求の範囲の請求項2に記載する撮像装置で、光学特性可変反射鏡が屈折率異方性が負の液晶よりなり、前記液晶に電場または磁場または温度を加えることにより屈折率を変化させて光学特性を変化させることを特徴とする撮像装置。

【0184】

(5) 特許請求の範囲の請求項 2 に記載する撮像装置で、光学特性可変反射鏡が入射光軸に垂直な面内で液晶分子の方位がほぼ均一である液晶よりなることを特徴とする撮像装置。

【0185】

(6) 特許請求の範囲の請求項 2 に記載する撮像装置で、光学特性可変反射鏡が入射光軸に垂直な面内で電気光学効果をもつ物質の方位がほぼ均一である物質よりなることを特徴とする撮像装置。

【0186】

(7) 特許請求の範囲の請求項 2 に記載する撮像装置で、光学特性可変反射鏡が液晶素子を有し、前記液晶素子の光軸とほぼ直交する方向に電場を加えて光学特性を変化させることを特徴とする撮像装置。

【0187】

(8) 特許請求の範囲の請求項 2 に記載する撮像装置で、光学特性可変反射鏡が屈折率異方性が負の電気光学効果又は磁気光学効果を持つ物質よりなり、この物質に電場又は磁場を加えることにより前記物質の屈折率を変化させて光学特性を変化させることを特徴とする撮像装置。

【0188】

(9) 特許請求の範囲の請求項 2 に記載する撮像装置で、光学特性可変反射鏡が入射光軸にほぼ垂直な面内での液晶分子の方位が前記面内でほぼ均一な液晶よりなり、この液晶に電場又は磁場または温度を加えることにより液晶の屈折率を変化させて光学特性を変化させるようにしたことを特徴とする撮像装置。

【0189】

(10) 特許請求の範囲の請求項 2 に記載する撮像装置で、光学特性可変反射鏡が液晶素子よりなり、更に前記液晶素子の光軸とほぼ直交する方向に電場を加える部材を備え、前記部材による電場が時間と共に方向を変化させるようにしたことを特徴とする撮像装置。

【0190】

(11) 特許請求の範囲の請求項 2 に記載する撮像装置で、光学特性可変反

射鏡が液晶素子よりなり、更に前記液晶素子の光軸とほぼ平行な方向に電場を加える部材と、前記液晶素子の光軸とほぼ直交する方向に電場を加える部材とを備えたことを特徴とする撮像装置。

【0191】

(12) 特許請求の範囲の請求項2に記載する撮像装置で、光学特性可変反射鏡が前記の(7)、(10)又は(11)に記載する光学素子で、下記式(7)を満足することを特徴とする撮像装置。

$$T \leq \tau \quad (7)$$

【0192】

(13) 前記(12)の項に記載する撮像装置で、条件(7)の代りに下記条件式(7-1)を満足することを特徴とする撮像装置。

$$T \leq 10\tau \quad (7-1)$$

【0193】

(14) 特許請求の範囲の請求項2に記載する撮像装置で、光学特性可変反射鏡が液晶素子を有し、前記液晶素子に用いる液晶が螺旋状の配向の液晶であることを特徴とする撮像装置。

【0194】

(15) 前記の(14)の項に記載する撮像装置で、下記式(6)、(5-61)、(5-62)、(5-28)、(5-29)、(5-30)のいずれかを満足することを特徴とする撮像装置。

$$P < \lambda \quad (6)$$

$$P < 20\pi \cdot \lambda \div 62.8\lambda \quad (5-61)$$

$$P < 20\lambda \quad (5-62)$$

$$|\Gamma/2\Phi| < 1 \quad (5-28)$$

$$|\Gamma/2\Phi| < \pi/6 \quad (5-29)$$

$$|\Gamma/2\Phi| < \pi \quad (5-30)$$

【0195】

(16) 特許請求の範囲の請求項2に記載する撮像装置で、光学特性可変反射鏡が液晶素子よりなり、高分子分散液晶を用いたことを特徴とする撮像装置。

【0196】

(17) 前記(16)の項に記載する撮像装置で、下記式(8)、(9)のうちの少なくとも一つの式を満足することを特徴とする撮像装置。

$$D < \lambda / 5 \quad (8)$$

$$0.5 < f / f < 0.999 \quad (9)$$

【0197】

(18) 前記(16)の項に記載する光学素子で、下記式(8-1)、(9-1)のうちの少なくとも一つの式を満足することを特徴とする撮像装置。

$$D < 2 \lambda \quad (8-1)$$

$$0.1 < f / f < 0.5 \quad (9-1)$$

【0198】

(19) 特許請求の範囲の請求項2に記載する撮像装置で、光学特性可変反射鏡が、液晶素子の温度を変化させることで特性を変えることを特徴とする撮像装置。

【0199】

(20) (17)又は(18)の項に記載する光学素子で、強度可変の磁場を加えて液晶の配向方向を制御することを特徴とする撮像装置。

【0200】

(21) 特許請求の範囲の請求項2に記載する撮像装置で、光学特性可変反射鏡が液晶を有し、前記液晶に電場の強さあるいは周波数を変化させることによって液晶の配向方向を制御することを特徴とする撮像装置。

【0201】

(22) 特許請求の範囲の請求項2に記載する撮像装置で、光学特性可変反射鏡が液晶素子を有し、前記液晶素子として電場の周波数によって誘電異方性が変化する液晶素子を用いたことを特徴とする撮像装置。

【0202】

(23) 特許請求の範囲の請求項1に記載する光学系で、前記非回転対称面が対称面を1面のみ有する面であることを特徴とする撮像装置。

【0203】

(24) 非回転対称面を有する光学素子と反射鏡と撮像素子とを備え、前記反射鏡と前記撮像素子とが同一の基板上に配置されている撮像装置。

【0204】

(25) 非回転対称面を有する光学素子と反射鏡と撮像素子とを備え、前記反射鏡と前記撮像素子とが同一の基板上に配置されている光学系。

【0205】

(26) 特許請求の範囲の請求項1に記載する光学系で、光学特性可変反射鏡が屈折率異方性が負の液晶よりなり、前記液晶に電場または磁場または温度を加えることにより屈折率を変化させて光学特性を変化させることを特徴とする光学系

【0206】

(27) 特許請求の範囲の請求項1に記載する光学系で、光学特性可変反射鏡が入射光軸に垂直な面内で液晶分子の方位がほぼ均一である液晶よりなることを特徴とする光学系。

【0207】

(28) 特許請求の範囲の請求項1に記載する光学系で、光学特性可変反射鏡が入射光軸に垂直な面内で電気光学効果をもつ物質の方位がほぼ均一である物質よりなることを特徴とする光学系。

【0208】

(29) 特許請求の範囲の請求項1に記載する光学系で、光学特性可変反射鏡が液晶素子を有し、前記液晶素子の光軸とほぼ直交する方向に電場を加えて光学特性を変化させることを特徴とする光学系。

【0209】

(30) 特許請求の範囲の請求項1に記載する光学系で、光学特性可変反射鏡が屈折率異方性が負の電気光学効果又は磁気光学効果を持つ物質よりなり、この物質に電場又は磁場を加えることにより前記物質の屈折率を変化させて光学特性を変化させることを特徴とする光学系。

【0210】

(31) 特許請求の範囲の請求項1に記載する光学系で、光学特性可変反射

鏡が入射光軸にほぼ垂直な面内での液晶分子の方位が前記面内でほぼ均一な液晶よりなり、この液晶に電場又は磁場または温度を加えることにより液晶の屈折率を変化させて光学特性を変化させるようにしたことを特徴とする光学系。

【0211】

(32) 特許請求の範囲の請求項1に記載する光学系で、光学特性可変反射鏡が液晶素子よりなり、更に前記液晶素子の光軸とほぼ直交する方向に電場を加える部材を備え、前記部材による電場が時間と共に方向を変化させるようにしたことを特徴とする光学系。

【0212】

(33) 特許請求の範囲の請求項1に記載する光学系で、光学特性可変反射鏡が液晶素子よりなり、更に前記液晶素子の光軸とほぼ平行な方向に電場を加える部材と、前記液晶素子の光軸とほぼ直交する方向に電場を加える部材とを備えたことを特徴とする光学系。

【0213】

(34) 前記の(29)、(32)又は(33)の項に記載する光学系で、下記式(7)を満足することを特徴とする光学系。

$$T \leq \tau \quad (7)$$

【0214】

(35) 前記(34)の項に記載する光学系で、条件(7)の代りに下記条件式(7-1)を満足することを特徴とする光学系。

$$T \leq 10\tau \quad (7-1)$$

【0215】

(36) 特許請求の範囲の請求項1に記載する光学系で、光学特性可変反射鏡が液晶素子を有し、前記液晶素子に用いる液晶が螺旋状の配向の液晶であることを特徴とする光学系。

【0216】

(37) 前記の(36)の項に記載する光学系で、下記式(6)、(5-61)、(5-62)、(5-28)、(5-29)、(5-30)のいずれかを満足することを特徴とする光学系。

$$P < \lambda \quad (6)$$

$$P < 20\pi \cdot \lambda \div 62.8\lambda \quad (5-61)$$

$$P < 20\lambda \quad (5-62)$$

$$|\Gamma/2\Phi| < 1 \quad (5-28)$$

$$|\Gamma/2\Phi| < \pi/6 \quad (5-29)$$

$$|\Gamma/2\Phi| < \pi \quad (5-30)$$

【0217】

(38) 特許請求の範囲の請求項1に記載する光学系で、光学特性可変反射鏡が液晶素子よりなり、高分子分散液晶を用いたことを特徴とする光学系。

【0218】

(39) 前記(38)の項に記載する光学系で、下記式(8)、(9)のうちの少なくとも一つの式を満足することを特徴とする光学系。

$$D < \lambda/5 \quad (8)$$

$$0.5 < f f < 0.999 \quad (9)$$

【0219】

(40) 前記(38)の項に記載する光学系で、下記式(8-1)、(9-1)のうちの少なくとも一つの式を満足することを特徴とする光学系。

$$D < 2\lambda \quad (8-1)$$

$$0.1 < f f < 0.5 \quad (9-1)$$

【0220】

(41) 特許請求の範囲の請求項1に記載する光学系で、光学特性可変反射鏡が、液晶素子の温度を変化させることで特性を変えることを特徴とする光学系。

【0221】

(42) (39)又は(40)の項に記載する光学系で、強度可変の磁場を加えて液晶の配向方向を制御することを特徴とする光学系。

【0222】

(43) 特許請求の範囲の請求項1に記載する光学系で、光学特性可変反射鏡が液晶を有し、前記液晶に電場の強さあるいは周波数を変化させることによ

て液晶の配向方向を制御することを特徴とする光学系。

【0223】

(44) 特許請求の範囲の請求項1に記載する光学系で、光学特性可変反射鏡が液晶素子を有し、前記液晶素子として電場の周波数によって誘電異方性が変化する液晶素子を用いたことを特徴とする光学系。

【0224】

(45) 非回転対称面を有する光学素子と光学特性可変反射鏡とディスプレイ（表示装置）とを備えた光学装置。

【0225】

(46) 非回転対称面を有する光学素子と光学特性可変反射鏡とを備えた観察装置。

(47) 非回転対称面と光学特性可変光学素子とを備えた光学系。

(48) 非回転対称面と光学特性可変光学素子とを備えた結像光学系。

(49) 非回転対称面と光学特性可変光学素子とを備えた光学装置。

(50) 非回転対称面と光学特性可変光学素子とを備えた観察装置。

【0226】

【発明の効果】

本発明によれば、自由曲面（非回転対称面）を有する光学素子を用いることにより色収差の少ない光学系になし得ると共にこれに光学特性可変反射鏡を用いることにより焦点距離を変化させた時もぼけ等の光学性能の劣化の少ない光学系および撮像装置を実現し得る。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態の構成を示す図

【図2】 屈折率の異方性が負の液晶の屈折率楕円体

【図3】 本発明の第1の実施の形態で電場を加えた状態を示す図

【図4】 液晶分子の配向状態を示す図

【図5】 液晶分子の配向状態を示す図

【図6】 配向膜に形成されているパターン

- 【図 7】 配向膜に形成されている他のパターン
- 【図 8】 本発明の第 2 の実施の形態の構成を示す図
- 【図 9】 本発明の第 2 の実施の形態の構成を示す図
- 【図 10】 図 8、9 の実施の形態で z 軸方向より見た図
- 【図 11】 本発明の第 2 の実施の形態の変形例
- 【図 12】 本発明の第 2 の実施の形態の光学素子を用いた撮像装置を示す

図

- 【図 13】 図 12 の撮像装置で Z 方向より見た図
- 【図 14】 本発明の光学特性可変光学素子を用いた可変焦点光学系の構成を示す図

- 【図 15】 本発明の光学素子を用いたズームレンズを備えた撮像装置を示す図

- 【図 16】 液晶の代りにポリマーを用いた液晶素子を示す図
- 【図 17】 液晶の代りにポリマーを用いた液晶素子を示す図
- 【図 18】 本発明の第 3 の実施の形態の構成を示す図
- 【図 19】 本発明の第 3 の実施の形態の構成を示す図
- 【図 20】 本発明の光学素子で磁場により配向を変化させる例を示す図
- 【図 21】 本発明の第 4 の実施の形態で可変焦点ミラーの構成を示す図
- 【図 22】 本発明の第 4 の実施の形態の他の例を示す図
- 【図 23】 本発明の第 4 の実施の形態の他の例を示す図
- 【図 24】 本発明の光学素子を用いた可変焦点眼鏡である第 5 の実施の形態を示す図

態を示す図

- 【図 25】 第 6 の実施の形態で本発明を適用した電子カメラの前方斜視図
- 【図 26】 第 6 の実施の形態の後方斜視図
- 【図 27】 第 6 の実施の形態の断面図
- 【図 28】 第 6 の実施の形態の変形例
- 【図 29】 第 7 の実施の形態で本発明を電子内視鏡に適用した例
- 【図 30】 本発明に適用可能な偏芯プリズムの例
- 【図 31】 本発明に適用可能な偏芯プリズムの他の例

【図 3 2】 本発明に適用可能な偏芯プリズムの他の例

【図 3 3】 本発明の光学特性可変光学素子を適用した画像表示装置

【図 3 4】 図 3 3 の画像表示装置の断面図

【図 3 5】 本発明の撮像装置により得られた画像を補正する電子回路を示

す図

【図 3 6】 従来の液晶レンズを用いた光学系の構成を示す図

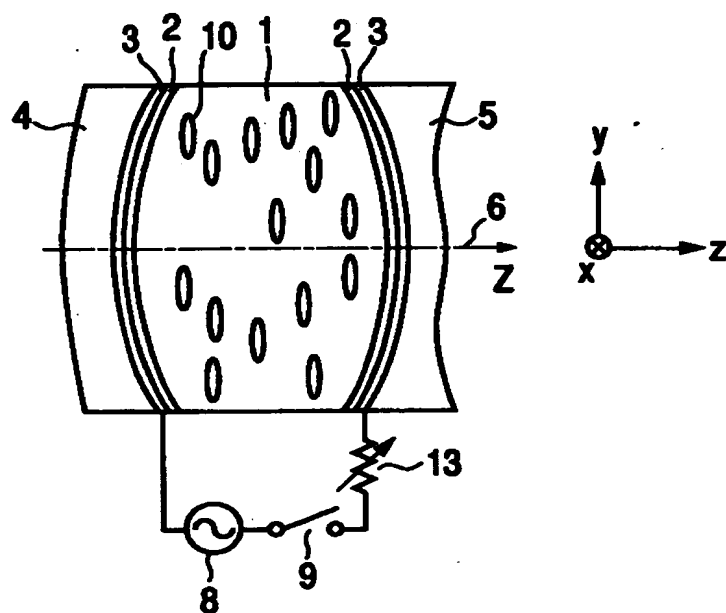
【図 3 7】 他の従来の液晶レンズを用いた光学系の構成を示す図

【図 3 8】 第 6 の実施の形態の他の変形例

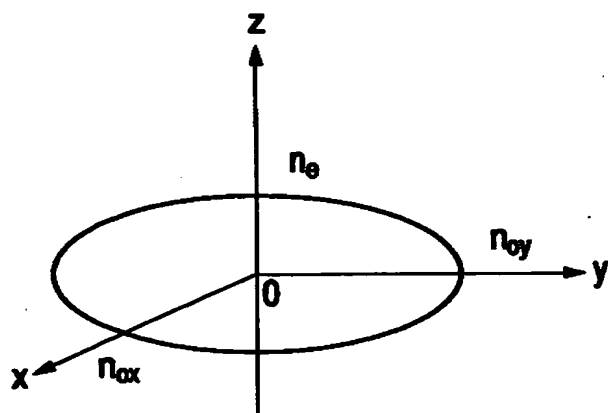
【書類名】

図面

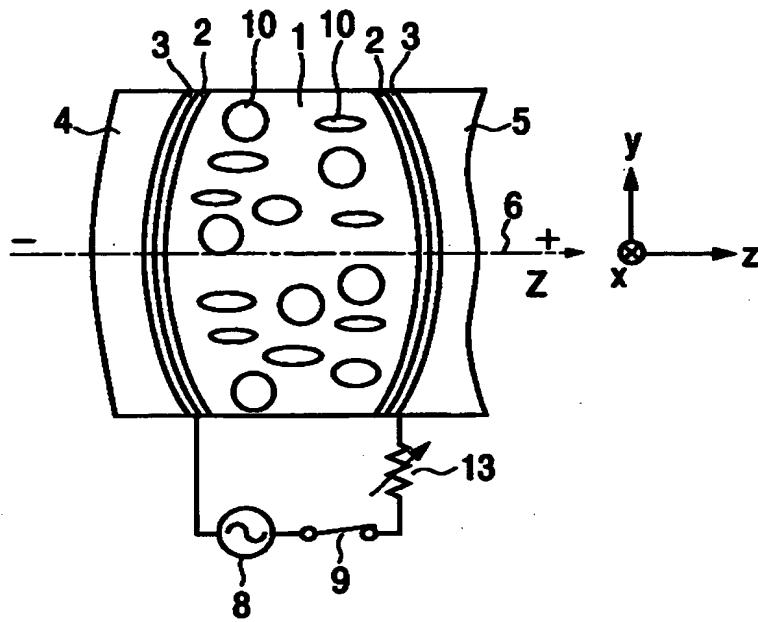
【図 1】



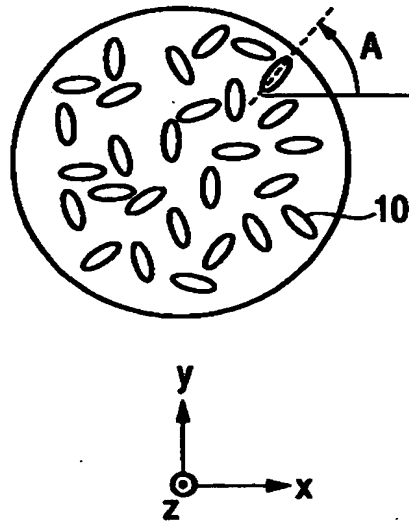
【図 2】



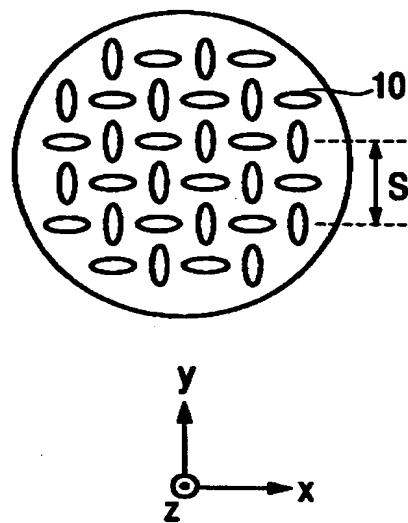
【図 3】



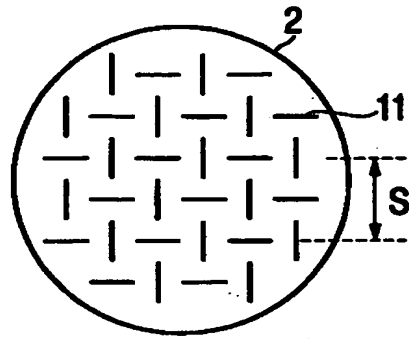
【图4】



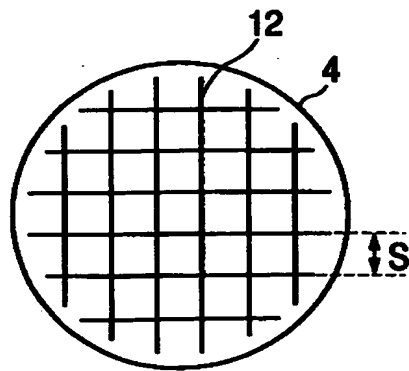
【图5】



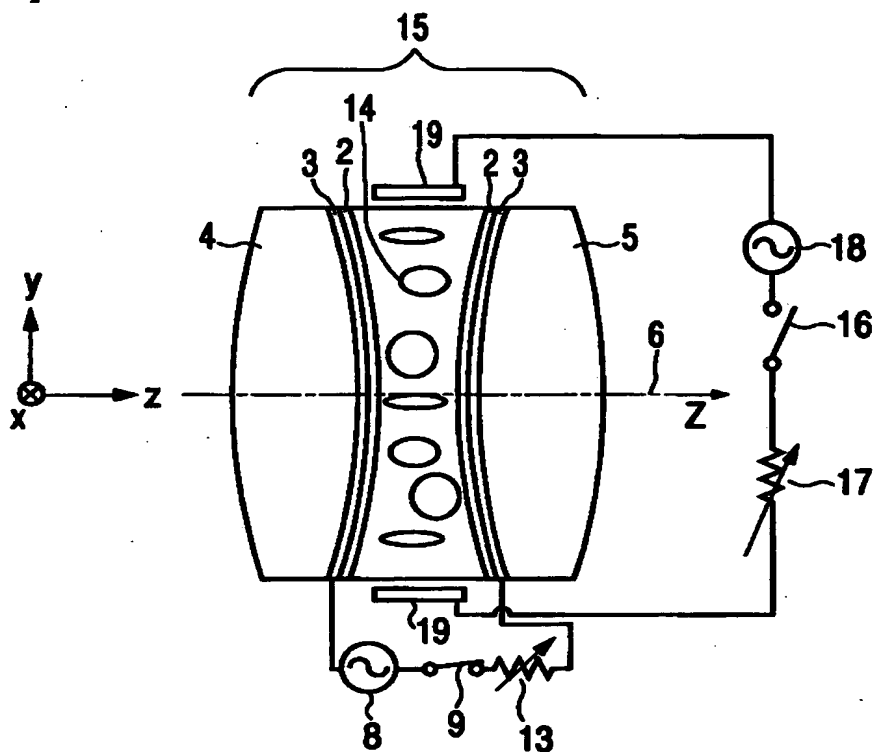
【図 6】



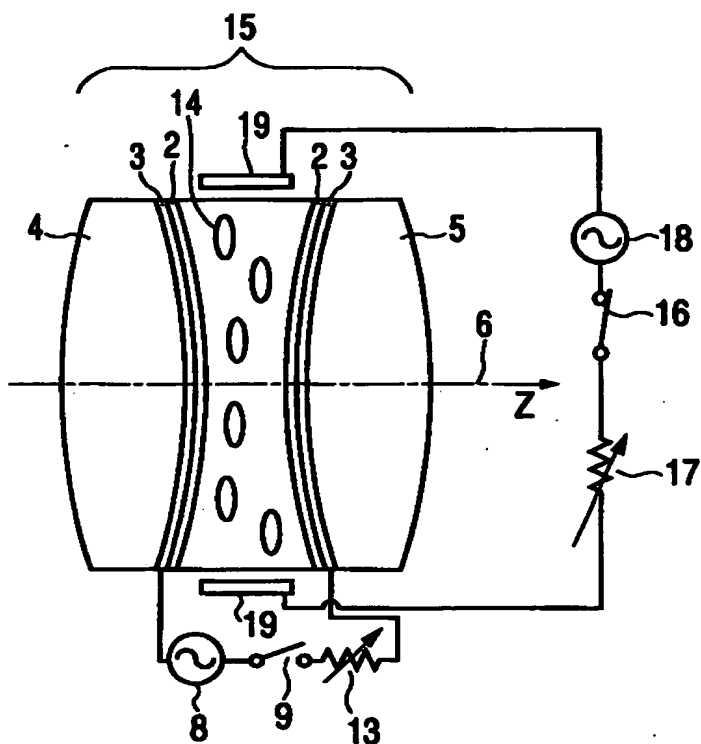
【図 7】



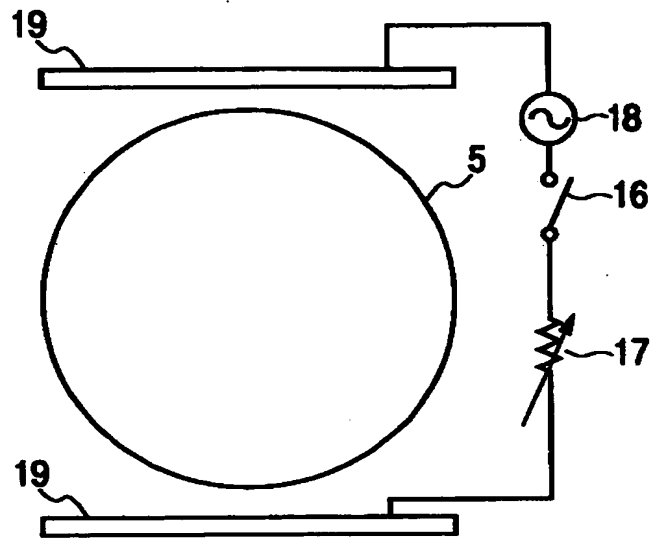
【図 8】



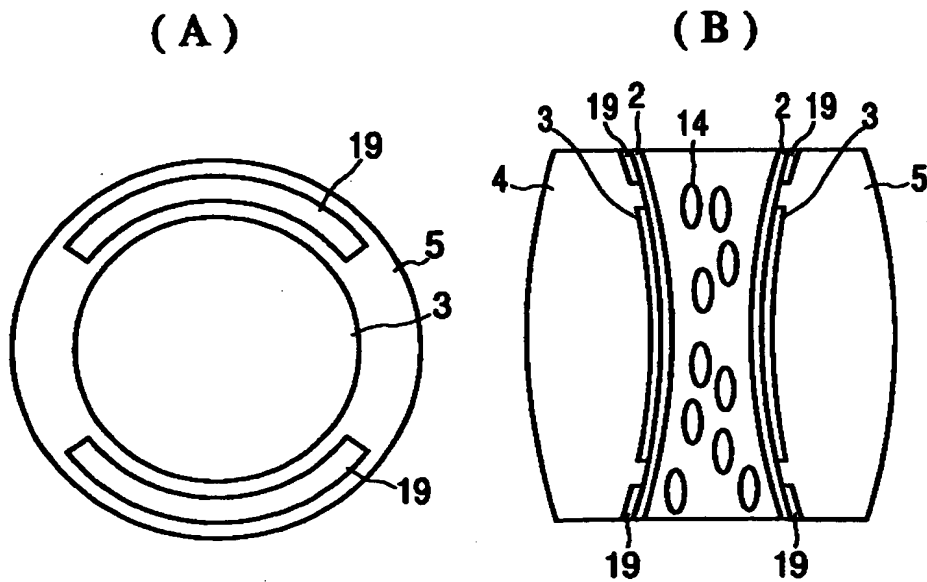
【図 9】



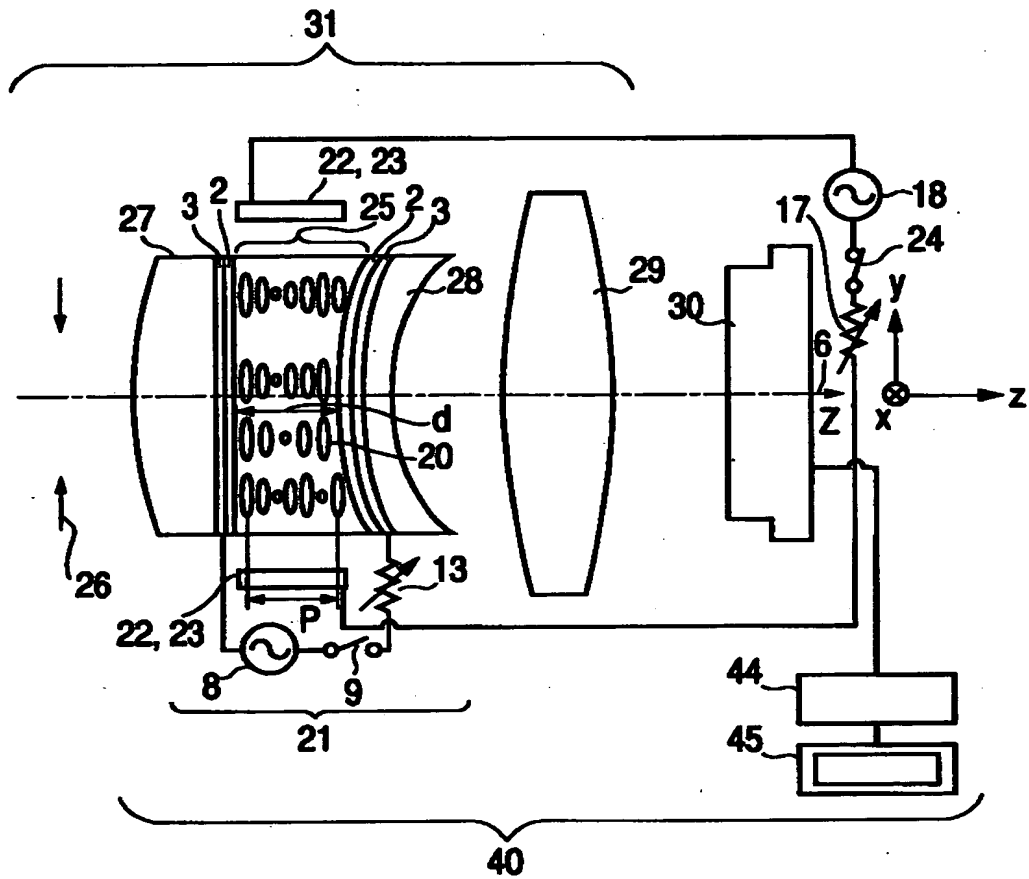
【図 10】



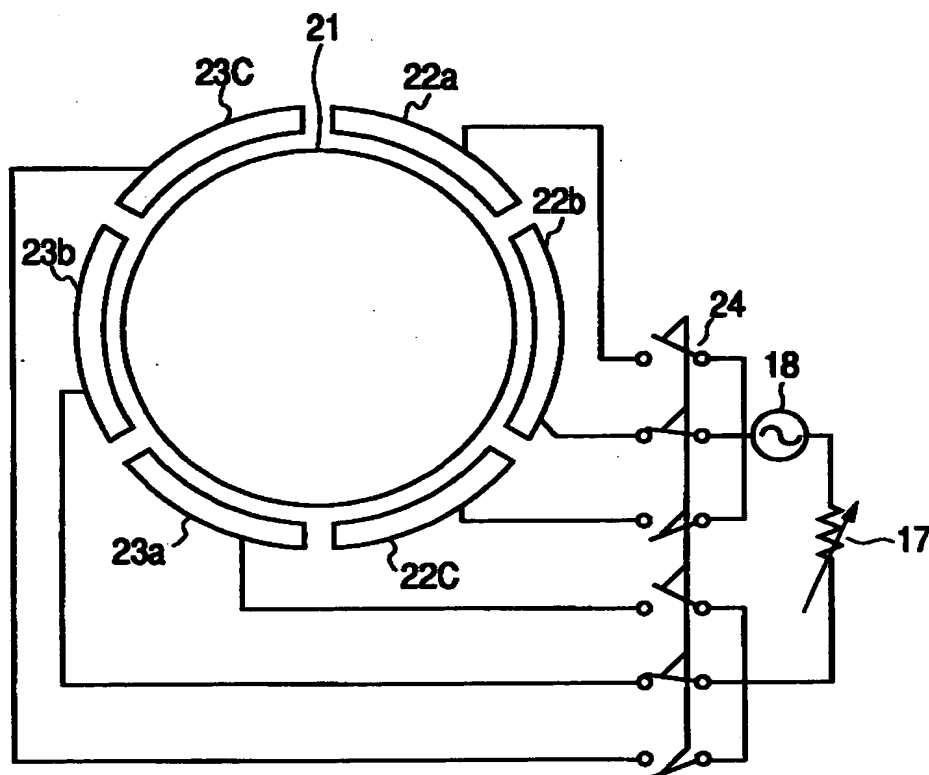
【図 11】



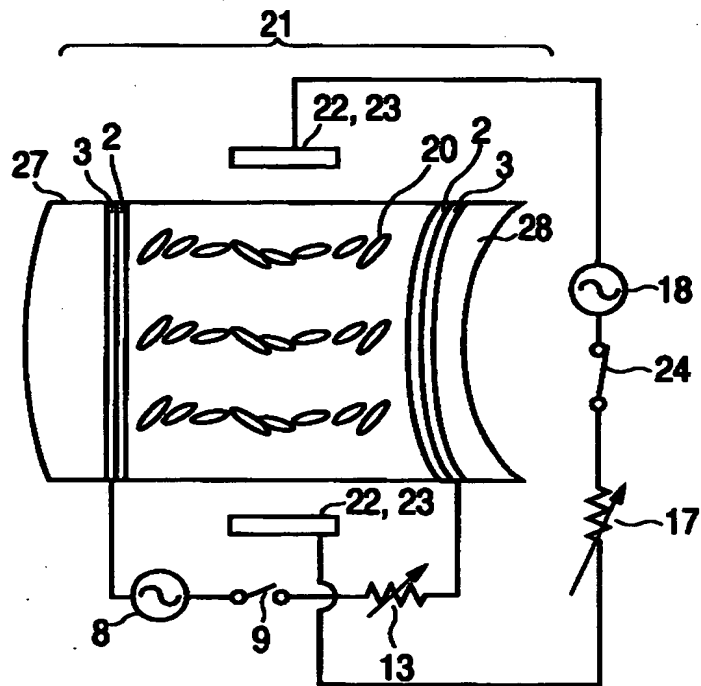
【図 12】



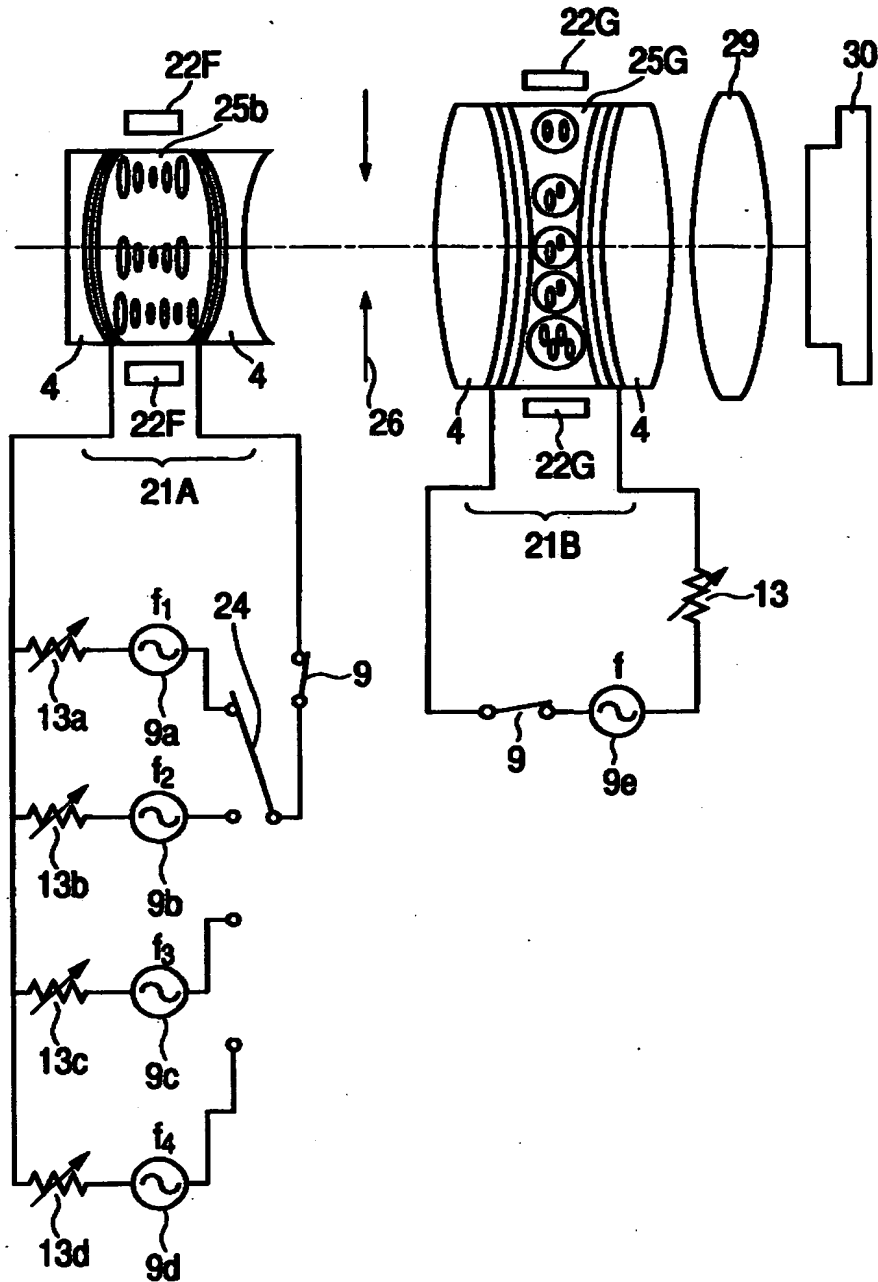
【図 13】



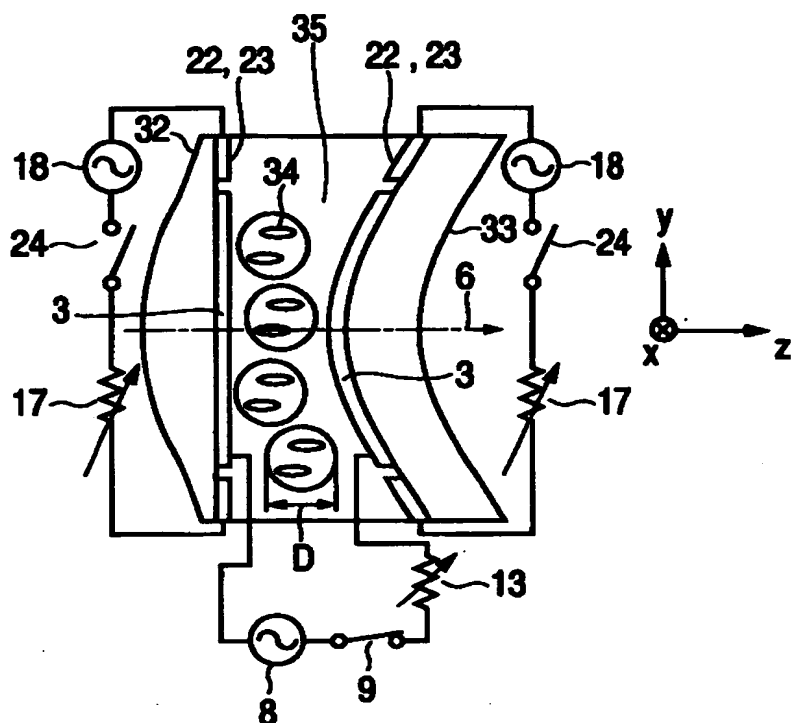
【図 14】



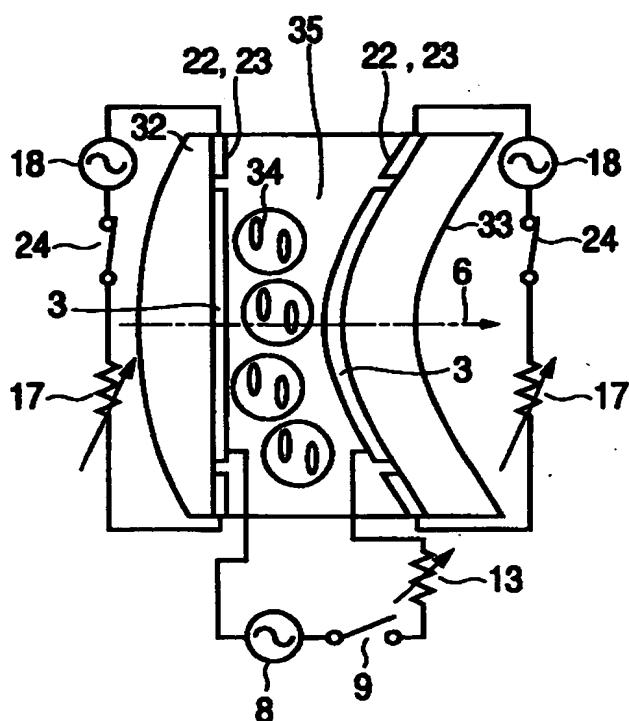
【図 15】



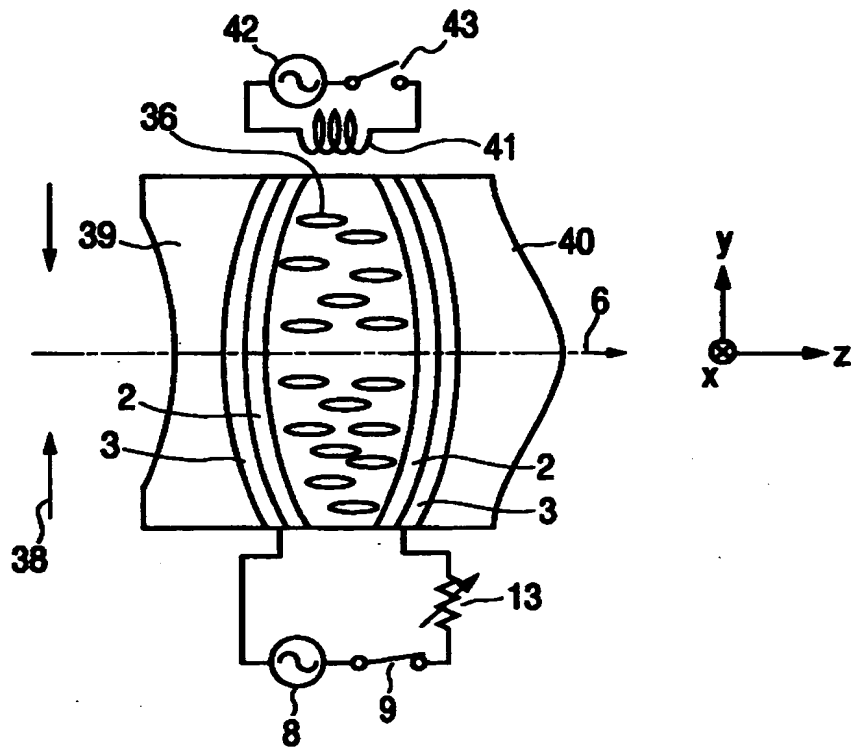
【図 16】



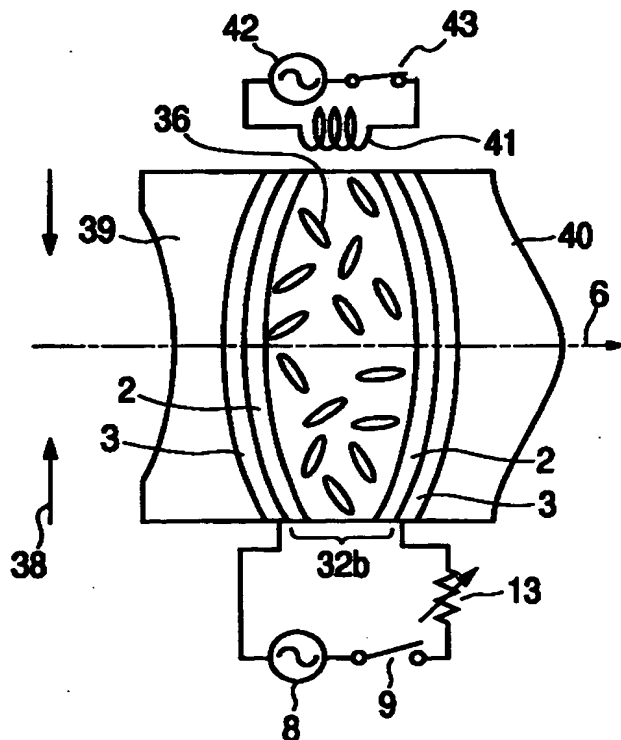
【図 17】



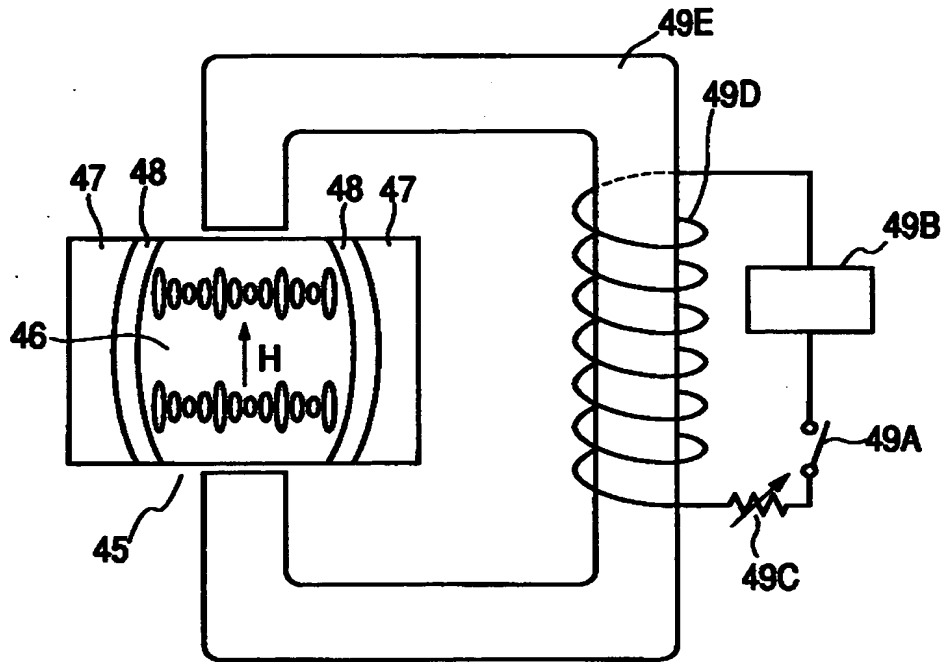
【図 18】



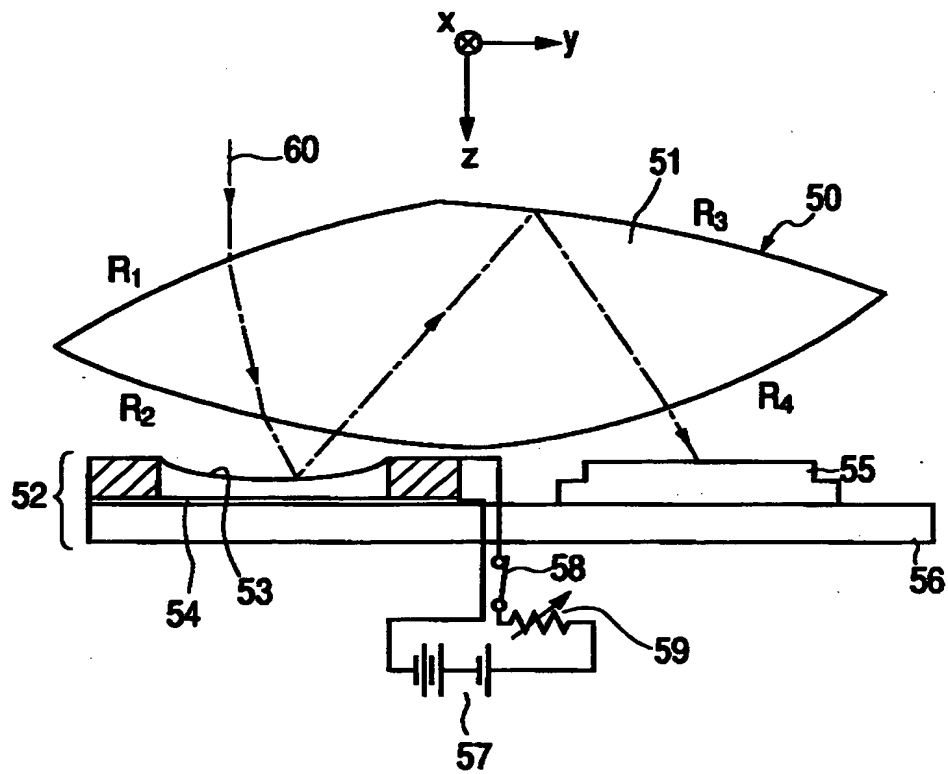
【図 19】



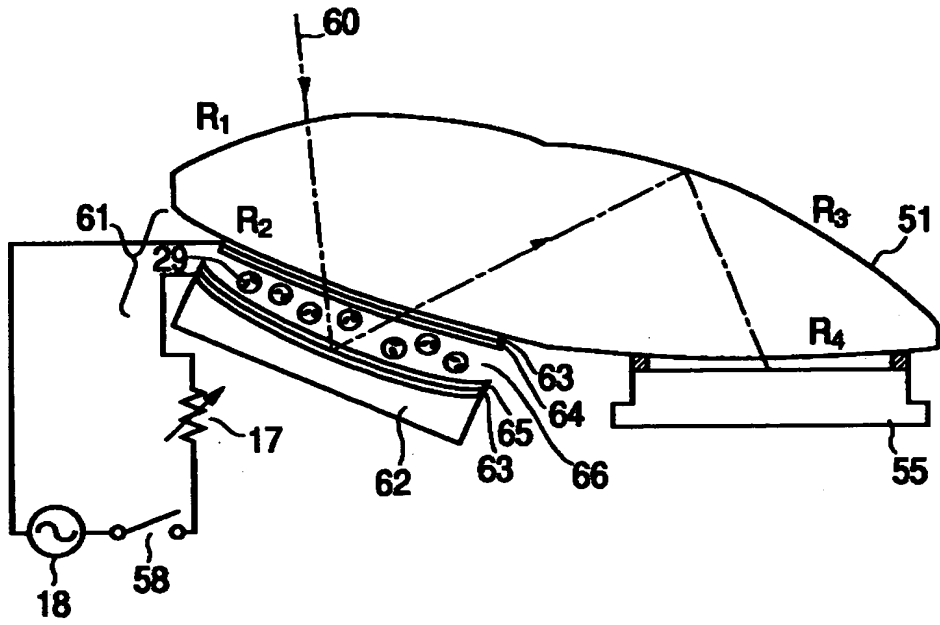
【図 20】



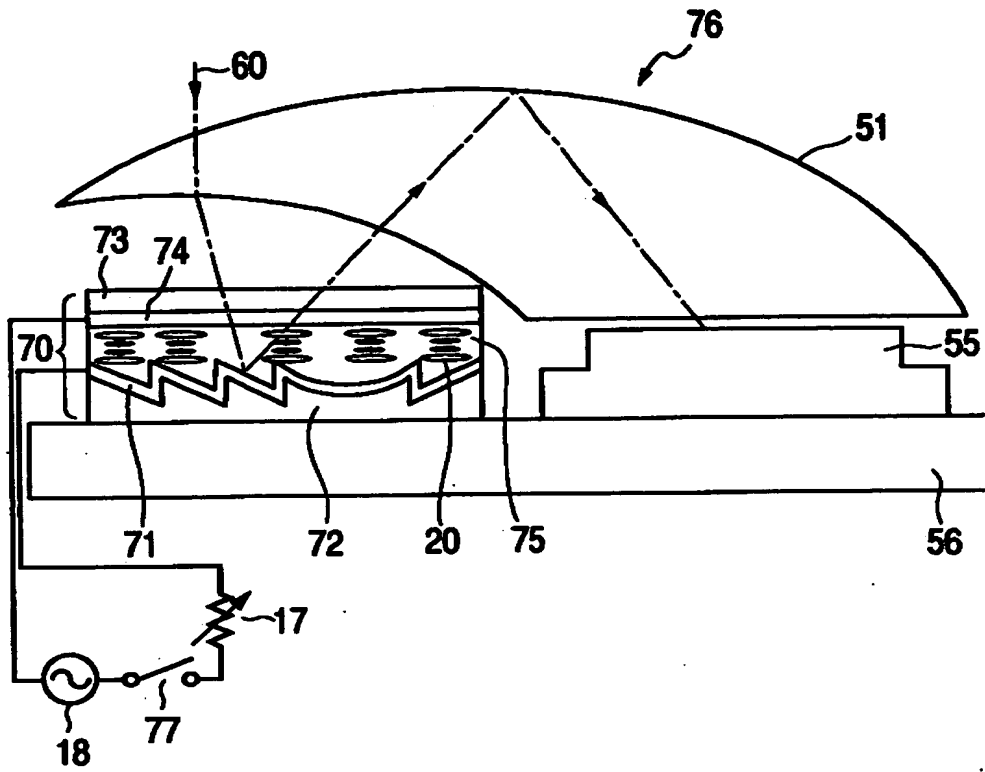
【図 21】



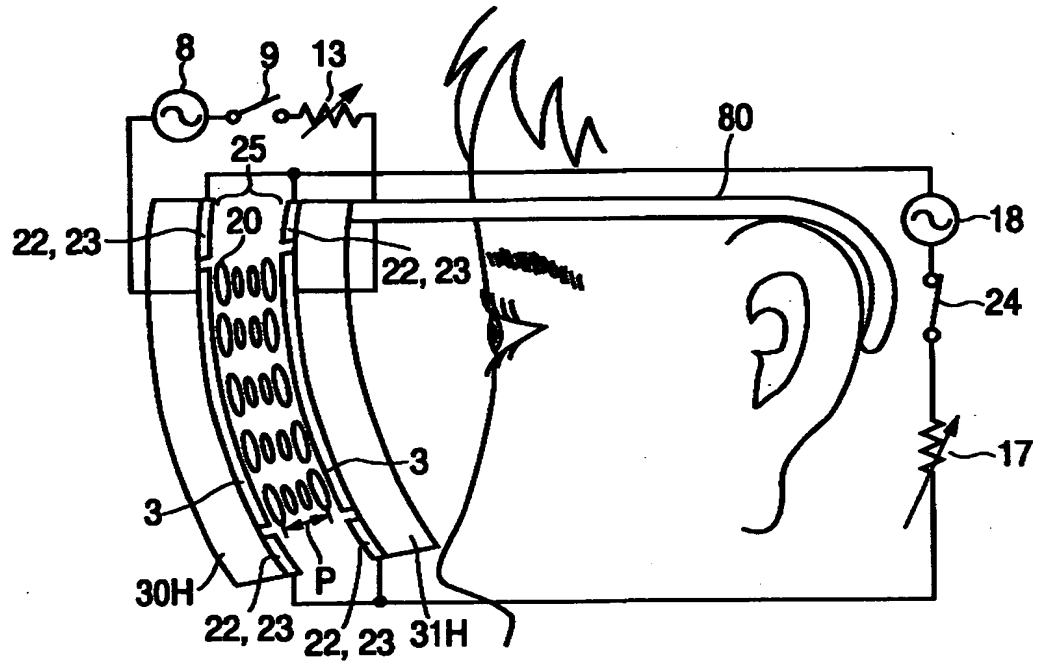
【図 22】



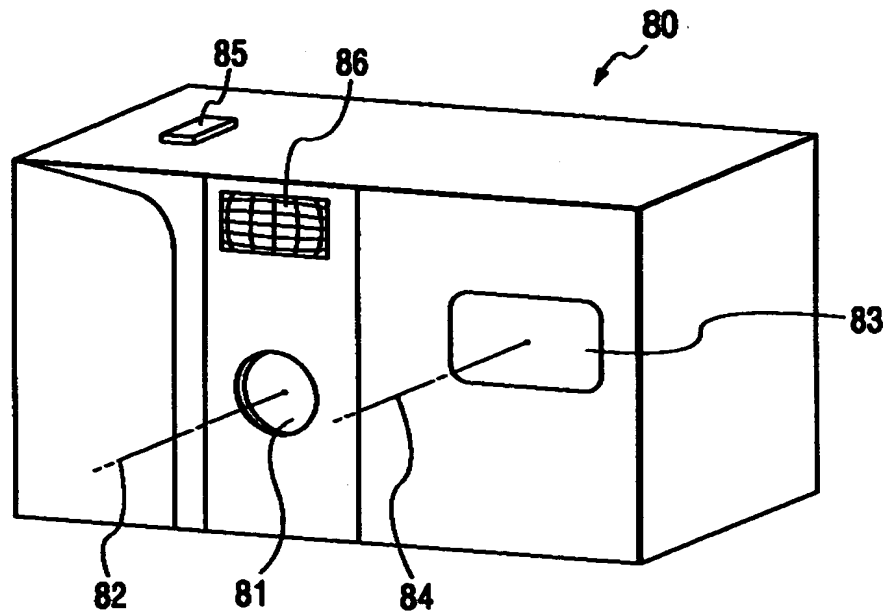
【図 23】



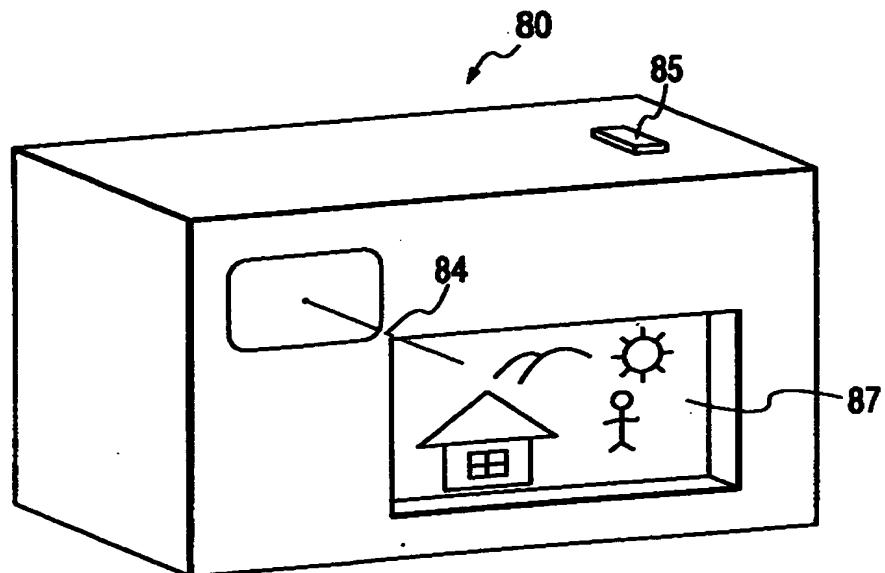
【図 24】



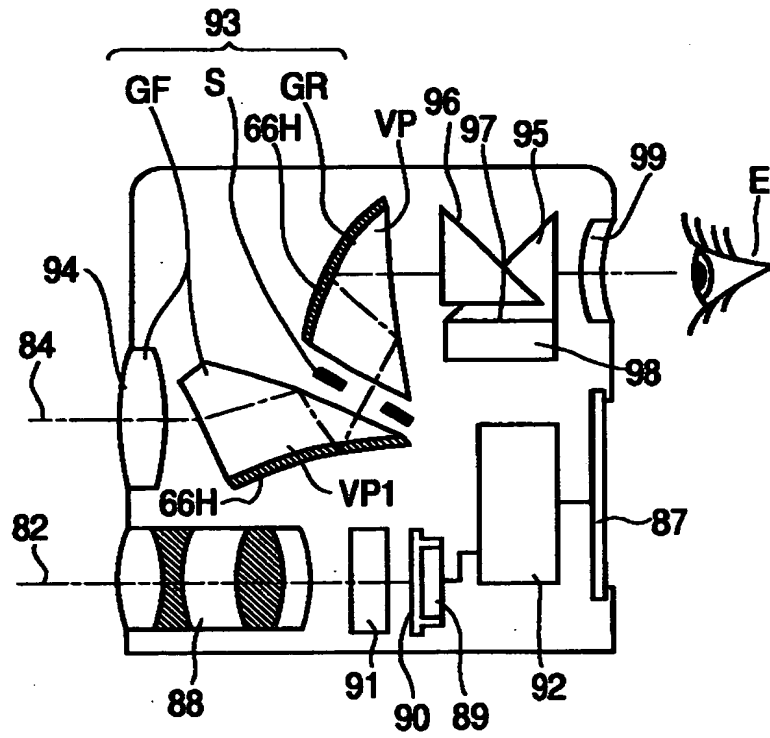
【図 25】



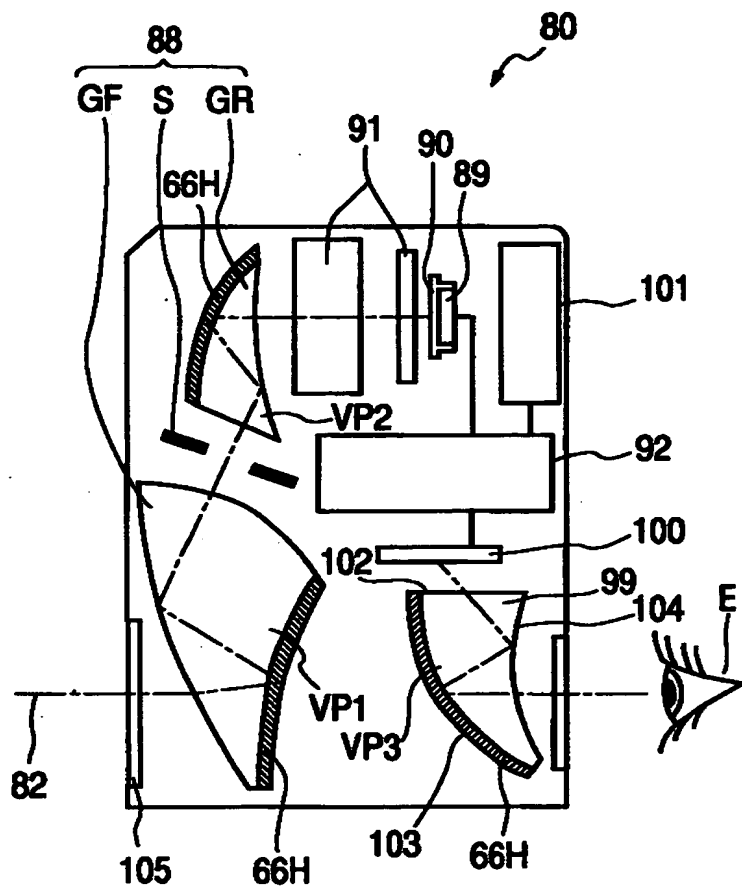
【図 26】



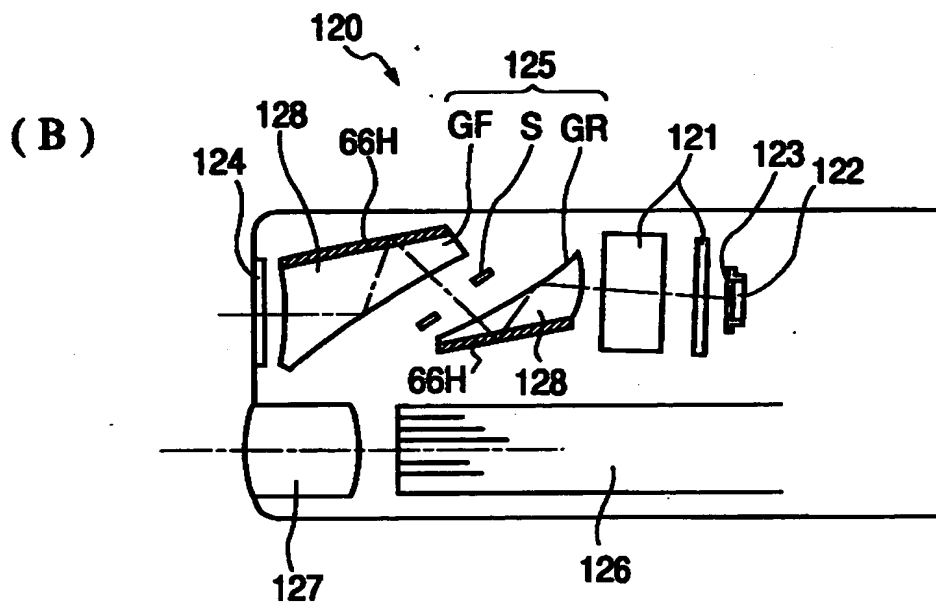
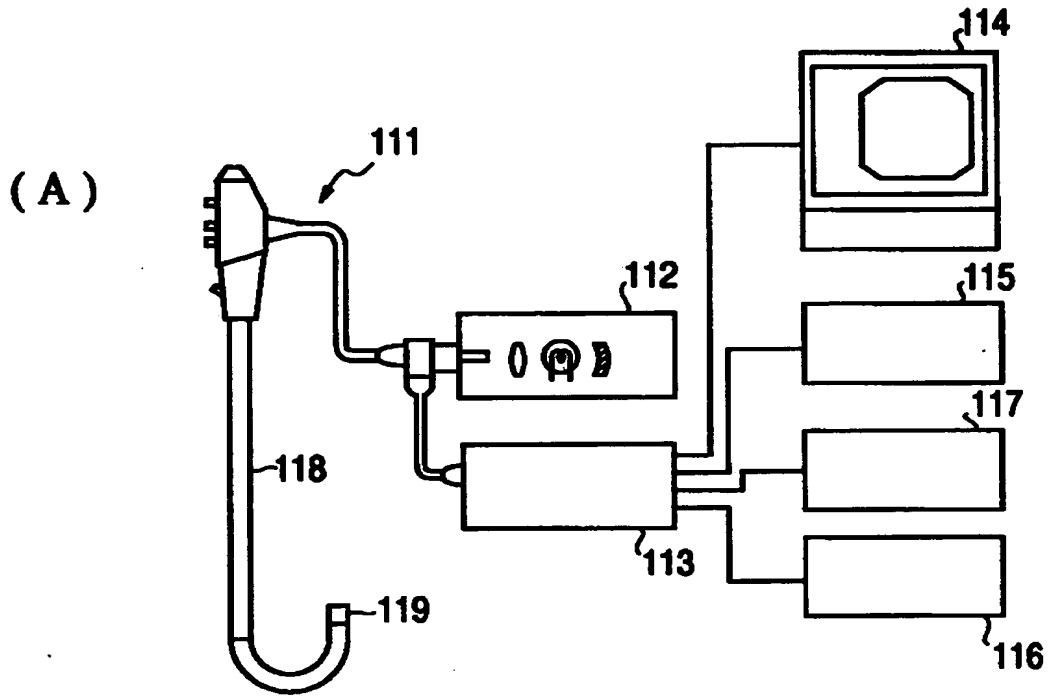
【図 27】



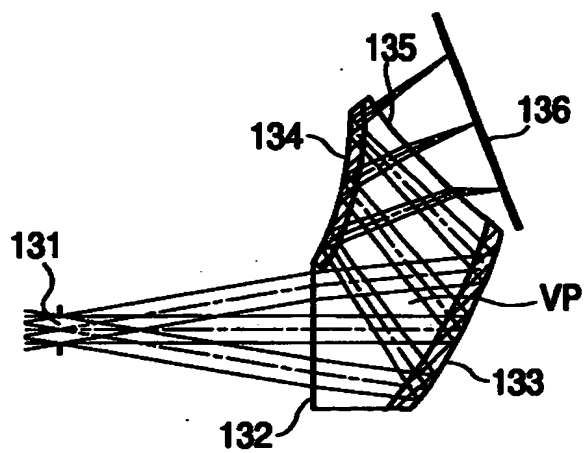
【図 28】



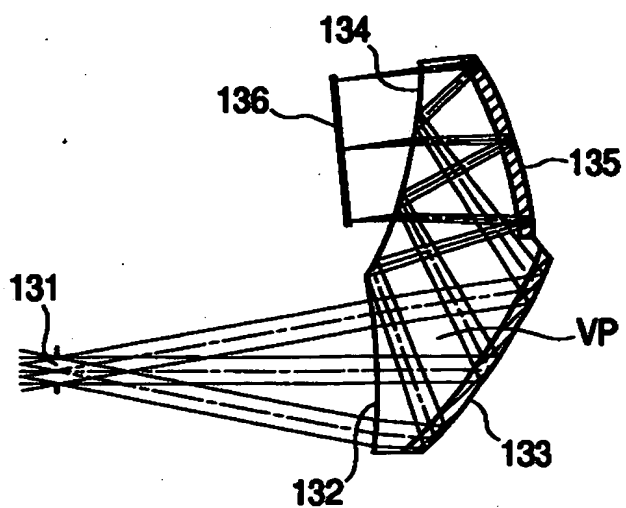
【図 29】



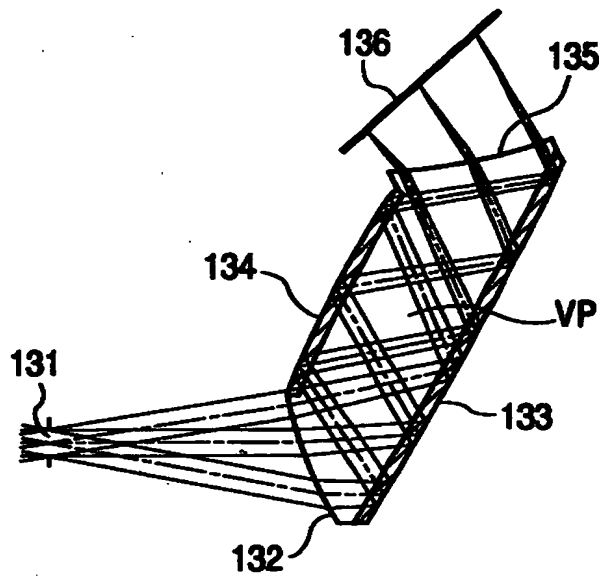
【図 30】



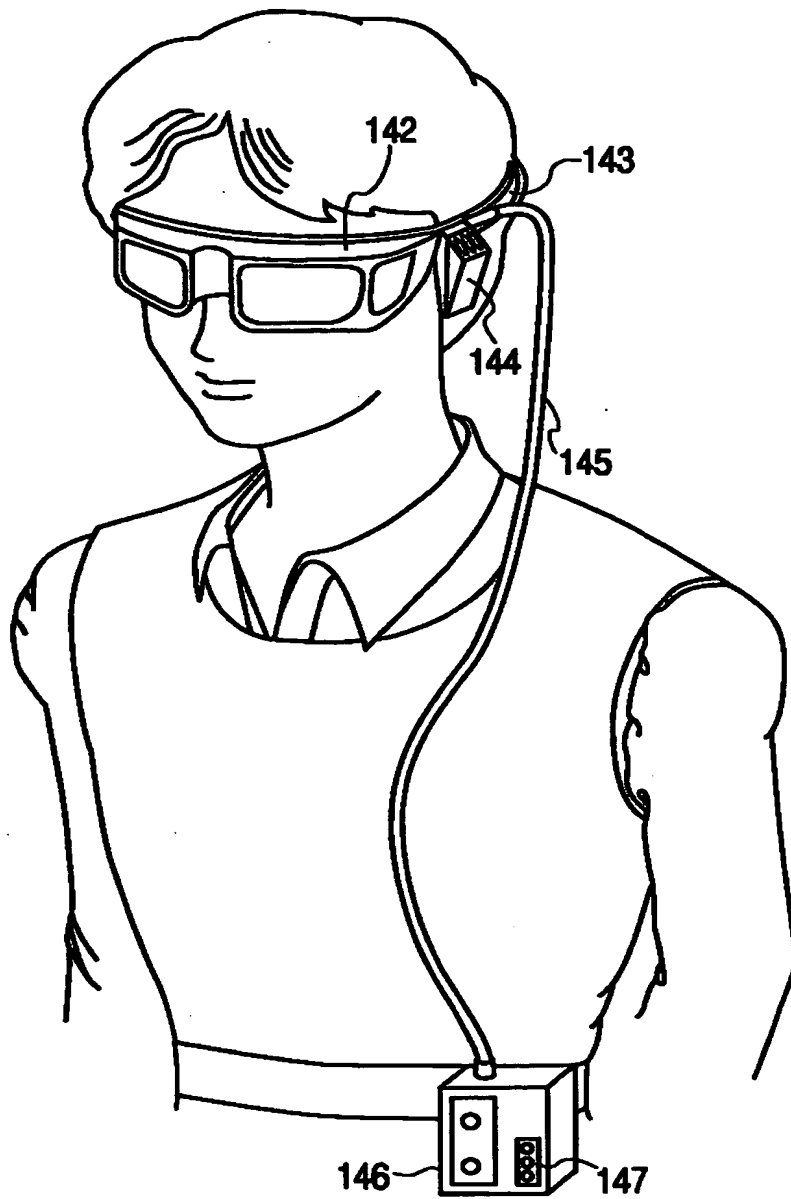
【図 31】



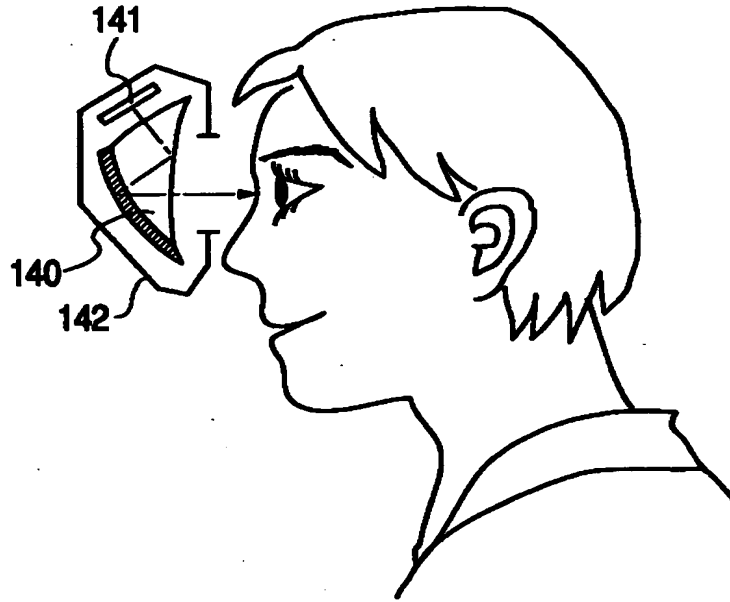
【図 3 2】



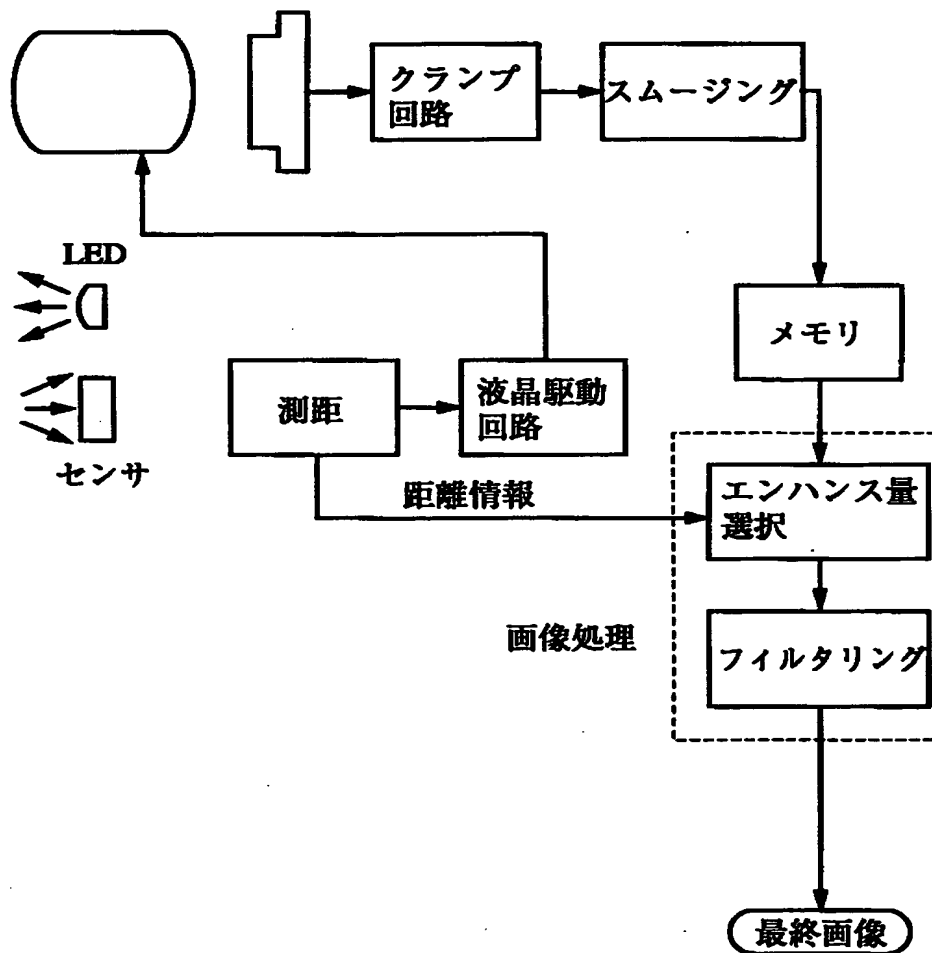
【図 33】



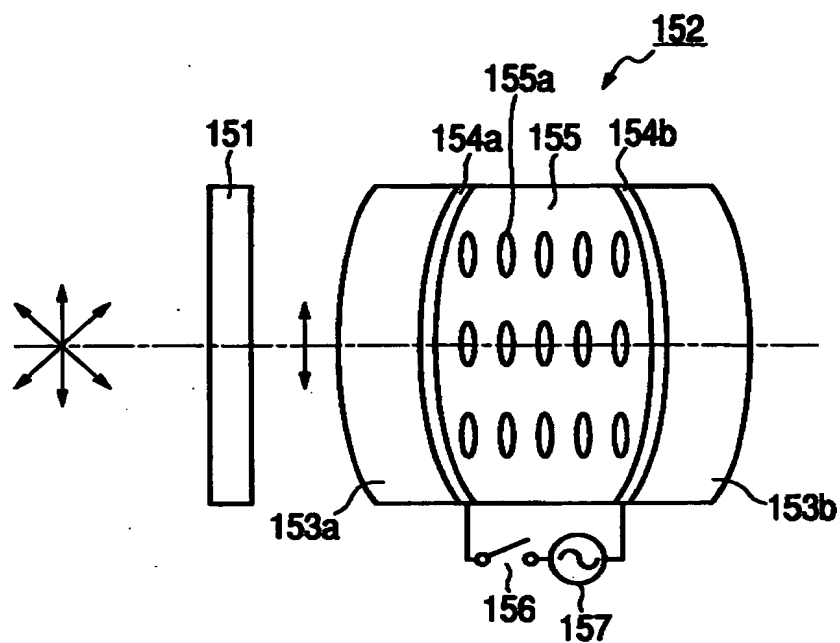
【図 34】



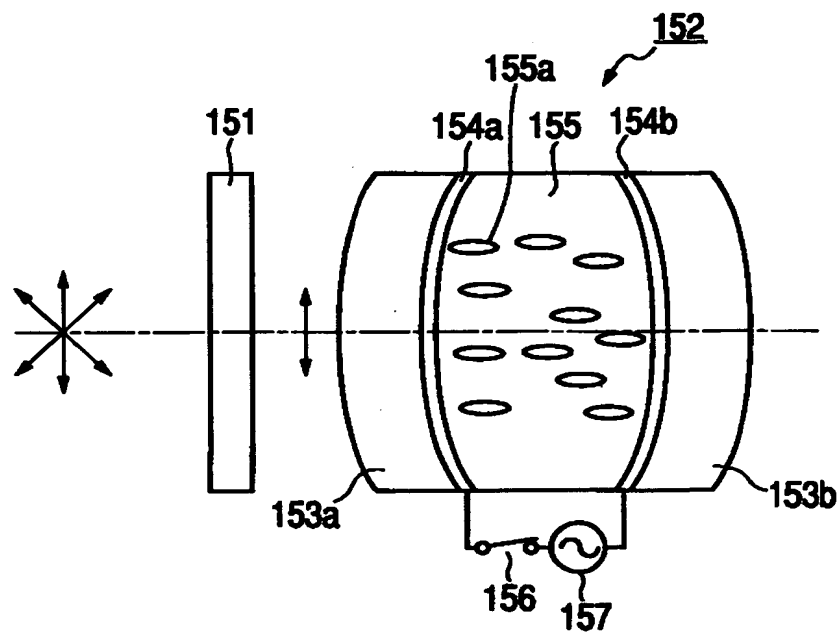
【図 35】



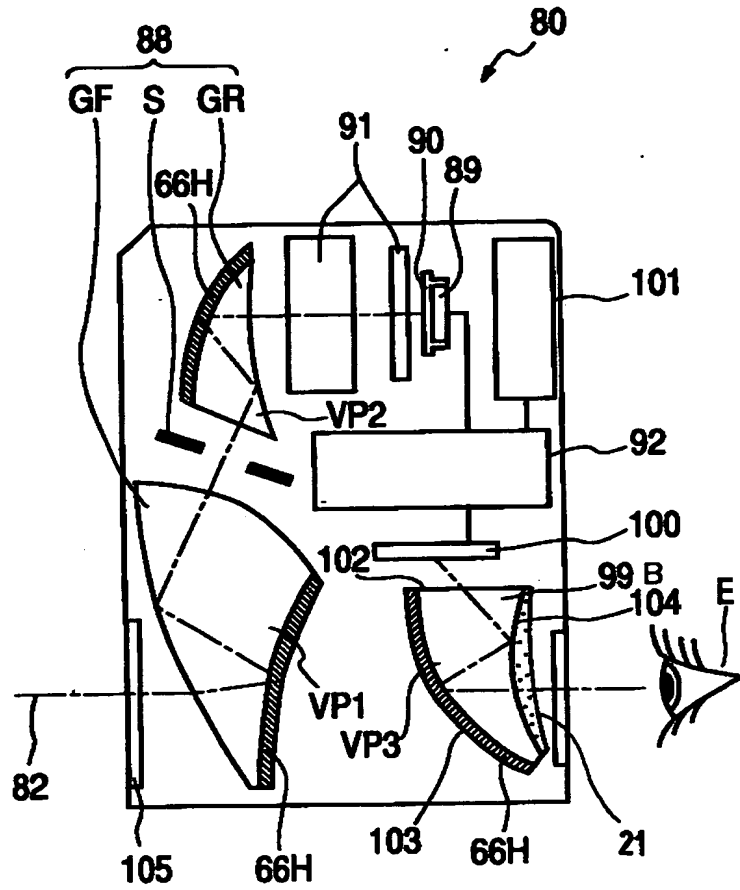
【図 36】



【図 37】



【図 38】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 色収差の発生がなく、移動機構等を必要としないフォーカシングやズーミング等のための機械的構造を簡単にする。

【解決手段】 自由曲面と光学特性可変反射鏡とにて構成した。

【選択図】 図 21

【書類名】 職権訂正データ
【訂正書類】 特許願

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】 000000376

【住所又は居所】 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

【氏名又は名称】 オリンパス光学工業株式会社

【代理人】 申請人

【識別番号】 100075867

【住所又は居所】 東京都港区虎ノ門2-5-2 窪田園ビル2階 向
特許事務所

【氏名又は名称】 向 寛二

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000000376]

1. 変更年月日	1990年 8月20日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号
氏 名	オリンパス光学工業株式会社